

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Hana Kašinská

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Vyhodnocování jasů a osvětleností v místech
zrakových úkolů školských zařízení**

**Analyze of luminance and illuminance in areas of
visual tasks at schools**

2015

Hana Kašinská

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Hana Kašinská**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vyhodnocování jasů a osvětleností v místech zrakových úkolů školských zařízení**
Analyze of luminance and illuminance in areas of visual tasks at schools

Zásady pro vypracování:

- o Rozbor vybraných světelně-technických parametrů
- o Rozbor jasových poměrů v místech zrakových úkolů
- o Měření a vyhodnocování jasů ve vnitřních prostorech (normy, předpisy)
- o Návrh osvětlovací soustavy v učebnách pro vybrané typy tabulí
- o Měření a vyhodnocení stávajícího stavu osvětlení tabulí
- o Návrh metodiky měření a vyhodnocování osvětlovacích soustav v souvislosti se školními tabulemi

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Ostravě, dne 7. května 2015

.....*Kačmarová!*.....

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. a Ing. Barbaře Helštýnové za cenné rady, připomínky a trpělivost při zpracování této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce vyhodnocuje osvětlení ve školních učebnách. První část práce se zabývá rozбором základních světelně-technických parametrů a jasových poměrů v místech zrakových úkolů. Dále je popsán postup měření a vyhodnocení jasů ve vnitřních prostorech podle norem.

Další část práce je teoretický návrh osvětlovací soustavy v učebně v programu Relux. Stávající stav osvětlovací soustavy byl měřen ve třech třídách s tmavou tabulí a v jedné třídě se světlou tabulí. Výsledky osvětleností a jasů byly vyhodnoceny hlavně pro dvě pracovní plochy míst zrakového úkolu – a to rovinu tabule a rovinu lavic.

V poslední části práce je zdůrazněna potřeba rozlišovat třídy s různými barvami tabulí, ať už při novém návrhu osvětlovací soustavy, či měření a vyhodnocení té stávající.

Klíčová slova

Osvětlenost, jasová analýza, luxmetr, jasový analyzátor, činitel odrazu, rovnoměrnost osvětlení, Relux, LMK 2000

Abstract

This thesis deals with evaluation of the lighting in the classrooms. The first part deals with the analysis of the basic light-technical parameters and luminance ratios in the areas of visual tasks. The following part describes a procedure for the measurement and evaluation of luminance in indoor areas according to the norms.

Another part is theoretical design of the lighting system in the classroom in software Relux. The current state of the lighting system was measured in three classrooms with dark board and one classroom with a light board. The results of illuminance and luminance were evaluated primarily for two places of working area visual task - the plane of the board and the plane of the tables.

The last part highlights the need to distinguish classrooms with different colors boards, whether in the design of the new lighting systems, or measurement and evaluation of the current one.

Keywords

Lighting, luminance analyze, light meter, luminance analyzer, the reflection coefficient, lighting uniformity, Relux, LMK 2000

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam použitých symbolů a zkratek

| | | |
|-------------------|--|-----------------------|
| A | plocha | (m ²) |
| D | průměr podstavy válečku pro měření válcové osvětlenosti | (m) |
| E | osvětlenost | (lx) |
| E_N | normálová osvětlenost | (lx) |
| E_n | nepřímá osvětlenost | (lx) |
| I | svítivost | (cd) |
| I_γ | svítivost pod úhlem γ ke svítivosti I_0 | (cd) |
| I_0 | svítivost pod úhlem 0° | (cd) |
| K | kontrast | (-) |
| $K(\lambda)$ | světelný účinek monochromatického záření | (lm·W ⁻¹) |
| L | jas | (cd·m ⁻²) |
| L_a | jas předmětu | (cd·m ⁻²) |
| L_b | jas pozadí | (cd·m ⁻²) |
| M | světlení | (lm·m ⁻²) |
| R_a | index podání barev | (-) |
| S_p | průmět svítící plochy | (m ²) |
| U_o | rovnoměrnost osvětlení místa úkolu | (-) |
| $V(\lambda)$ | poměrná světelná účinnost | (-) |
| h | výška válečku pro měření válcové osvětlenosti | (m) |
| l | vzdálenost světelného zdroje od plochy A | (m) |
| p | činitel polohy pro svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu | (-) |
| r | poloměr | (m) |
| Φ | světelný tok | (lm) |
| $\Phi_e(\lambda)$ | zářivý tok dané vlnové délky | (W) |
| Φ_a | světelný tok, jenž je pohlcen materiálem | (lm) |
| Φ_p | světelný tok odražený | (lm) |
| Φ_τ | světelný tok, který projde materiálem | (lm) |
| Ω | prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzařován | (sr) |
| α | pohltivost | (-) |
| β | úhel, svírající dopadající paprsek s normálou plochy | (°) |
| γ | úhel mezi normálou osvětlené plochy a směrem paprsku | (°) |
| λ | vlnová délka | (m) |
| ρ | odraznost materiálu | (-) |
| τ | propustnost | (-) |
| ω | prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele | (sr) |
| CAD | Copmuter Aided Desing | |
| LMK | Leuchtdichtemesskamera, jasový analyzátor | |
| UGR | Unified Glare Rating, činitel oslnění | |

Obsah:

| | |
|---|---------------|
| Úvod..... | - 1 - |
| 1 Rozbor vybraných světelně-technických parametrů | - 2 - |
| 1.1 Světelný tok..... | - 2 - |
| 1.2 Svítivost..... | - 2 - |
| 1.2.1 Prostorový úhel | - 3 - |
| 1.3 Osvětlenost..... | - 4 - |
| 1.4 Světlení..... | - 6 - |
| 1.5 Jas..... | - 6 - |
| 1.5.1 Jas svítidel | - 6 - |
| 1.5.2 Kontrast jasů..... | - 7 - |
| 1.6 Materiálové vlastnosti..... | - 7 - |
| 1.6.1 Lambertův zářič..... | - 8 - |
| 1.7 Střední válcová osvětlenost..... | - 9 - |
| 1.8 Oslnění..... | - 9 - |
| 1.8.1 Oslnění ve vnitřních prostorech..... | - 9 - |
| 1.8.2 Činitel rušivého oslnění..... | - 11 - |
| 2 Rozbor jasových poměrů v místech zrakových úkolů | - 13 - |
| 2.1 Rozložení jasů | - 13 - |
| 2.2 Činitele odrazu povrchů..... | - 13 - |
| 2.3 Osvětlenost..... | - 14 - |
| 2.3.1 Osvětlenost povrchů | - 14 - |
| 2.3.2 Osvětlenosti zrakového úkolu | - 14 - |
| 2.3.3 Rovnoměrnost osvětlení | - 15 - |
| 2.4 Školská zařízení..... | - 16 - |
| 2.4.1 Vyhláška 410/2005 Sb..... | - 16 - |
| 3 Měření a vyhodnocování jasů ve vnitřních prostorech (normy, předpisy)..... | - 18 - |
| 3.1 Jasoměry a jasové analyzátory | - 18 - |
| 3.2 Výběr kontrolních bodů..... | - 19 - |
| 3.3 Příprava měření..... | - 19 - |
| 3.4 Postup při měření..... | - 20 - |
| 3.5 Měření jasů ploch | - 20 - |
| 3.6 Vyhodnocení měření..... | - 21 - |
| 4 Návrh osvětlovací soustavy v učebnách pro vybrané typy tabulí..... | - 22 - |
| 4.1 Relux Suite | - 22 - |
| 4.2 Návrh osvětlovací soustavy učebny..... | - 22 - |

| | | |
|----------|---|---------------|
| 5 | Měření a vyhodnocení stávajícího stavu osvětlení tabulí | - 25 - |
| 5.1 | <i>Měřicí přístroje</i> | - 25 - |
| 5.2 | <i>Postup měření</i> | - 26 - |
| 5.3 | <i>Vyhodnocení měření.....</i> | - 26 - |
| 5.3.1 | Třída D116 | - 26 - |
| 5.3.2 | Třída D 216 | - 28 - |
| 5.3.3 | Třída D 222 | - 31 - |
| 5.3.4 | Třída EB 119 | - 33 - |
| 5.4 | <i>Výpočet odraznosti tabulí a lavic.....</i> | - 39 - |
| 6 | Návrh metodiky měření a vyhodnocování osvětlovacích soustav v souvislosti se školními tabulemi | - 40 - |
| 6.1 | <i>Poměr jasů míst zrakových úkolů.....</i> | - 40 - |
| 6.2 | <i>Návrh metodiky měření</i> | - 40 - |
| 7 | Závěr..... | - 41 - |
| | Literatura..... | - 42 - |
| | Seznam příloh | - 44 - |

Úvod

Správný návrh osvětlovací soustavy ve školních učebnách je důležitý pro vytvoření zrakové pohody studentů, kteří ve třídách tráví značnou část dne. Nedodržení zrakové pohody má dopad na pozornost, pracovní výkon a unavenost studentů. Důležitým faktorem je osvětlenost v místech zrakových úkolů, rovnoměrnost osvětlenosti a také poměry jasů lavice a tabule. Měřením a vyhodnocením současného stavu osvětlení se zjistí, jestli a jaké má soustava nedostatky, a můžou se postoupit kroky k jejímu zlepšení.

Diplomová práce má šest kapitol, kde první je rozbořem základních světelně-technických parametrů. Druhá kapitola se zabývá rozbořem jasových poměrů v místech zrakových úkolů. Jsou popsány vhodné činitele odrazu místnosti, osvětlenosti a požadavky na osvětlovací soustavu ve školském zařízení. V další kapitole jsou popsány jasoměry a jasové analyzátory, příprava a postup měření ve vnitřních prostorách a vyhodnocení měření v souladu normou ČSN 360011.

Čtvrtá kapitola je teoretickým návrhem osvětlovací soustavy učebny v programu Relux. Návrh byl proveden pro dvě situace: třída byla vybavena světlou nebo tmavou tabulí. Stávající stav osvětlovací soustavy ve třídách byl měřen v kapitole číslo pět. Bylo vybráno několik tříd s různým stavem osvětlovací soustavy. Tři třídy měly tmavou tabuli, jedna třída světlou. Výsledky osvětlenosti byly vyhodnoceny hlavně pro dvě pracovní plochy míst zrakového úkolu: rovinu tabule a rovinu lavic. Jasy byly vyhodnoceny pomocí softwaru LMK 2000. Z průměrných jasů a osvětleností byly vypočítány činitele odrazu tabule a lavic v každé třídě. Šestá kapitola je diskuzí o rozdílu osvětlovacích soustav pro třídy s tmavou tabulí a pro třídy se světlou tabulí.

1 Rozbor vybraných světelně-technických parametrů

Pro popis světelného záření a jeho parametrů jsou používány normované fyzikální veličiny a jednotky. Všechny zavedené veličiny a jednotky se vztahují na takzvaného normálního fotometrického pozorovatele. Tohoto pozorovatele reprezentují standardní vlastnosti lidského oka, protože každý člověk může mít odlišnou citlivost k různým vlnovým délkám světla.

1.1 Světelný tok

Světelný tok Φ představuje zářivý tok Φ_e , který je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Určuje, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Zářivý tok představuje velikost výkonu, které záření přenáší, vysílá nebo přijímá.

Světelný tok je jeden z údajů světelného zdroje, který značí, jak bude daný zdroj svítit. 1 lumen je definován, jako světelný tok vyzářený zdrojem o svítivosti 1 kandela do prostorového úhlu 1 steradián.

Světelný tok monochromatického záření vlnové délky λ , jehož zářivý tok je Φ_e , se určí ze vztahu:

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda)\Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) = 683 \cdot V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \quad 1.1$$

kde:

$K(\lambda)$ světelný účinek monochromatického záření ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$)

$V(\lambda)$ poměrná světelná účinnost (-)

$\Phi_e(\lambda)$ zářivý tok dané vlnové délky λ (W)

Poměrná světelná účinnost $V(\lambda)$ je definována:

$$V(\lambda) = \frac{K_\Phi(\lambda)}{K_m} \quad 1.2$$

Světelná účinnost záření $K(\lambda)$ dosahuje maximální hodnoty $K_m=683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ odpovídající monofrekvenčnímu záření základní vlnové délky $\lambda_m=555 \text{ nm}$ u normálního pozorovatele při fotopickém (denním) vidění. [1][6]

1.2 Svítivost

Svítivost je světelně technická veličina, která popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Udává, kolik světelného toku vyzáří zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Jednotkou svítivosti je kandela (cd). Kandela patří mezi základní fyzikální jednotky soustavy SI. Od roku 1979 je kandela definována jako svítivost zdroje, jenž vyzařuje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ a frekvenci $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Střední hodnota svítivosti se pak určí ze světelného toku Φ vyzařujícím v jednotkovém prostorovém úhlu Ω .

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

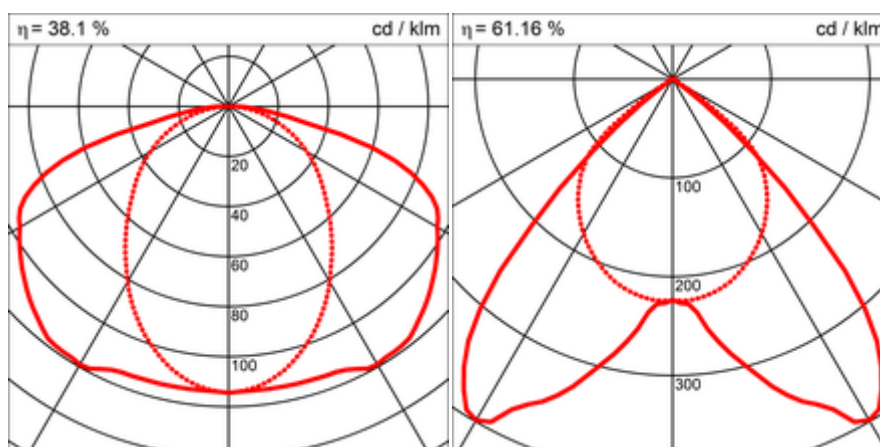
1.3

kde

 I svítivost (cd) Φ světelný tok (lm) Ω prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzařován (sr)

Svítivost se určuje pro bodový zdroj, který má zanedbatelné rozměry vzhledem ke vzdálenosti k bodu, ke kterému se provádí kontrolní měření.

Změřením svítivosti ve všech bodech prostoru okolo zdroje a vynesení hodnot vektorů dostaneme prostorové rozložení svítivosti zdroje. V praxi se však s prostorovým rozložením svítivosti dále nepracuje a používají se pouze různé typy řezu touto plochou. V těchto řezech (polorovinách) dostaneme křivky svítivosti, které se standardně vynášejí v polárních souřadnicích. Křivky svítivosti charakterizují distribuci světelného toku. [1]



Obr. 1: Křivky svítivosti [9]

1.2.1 Prostorový úhel

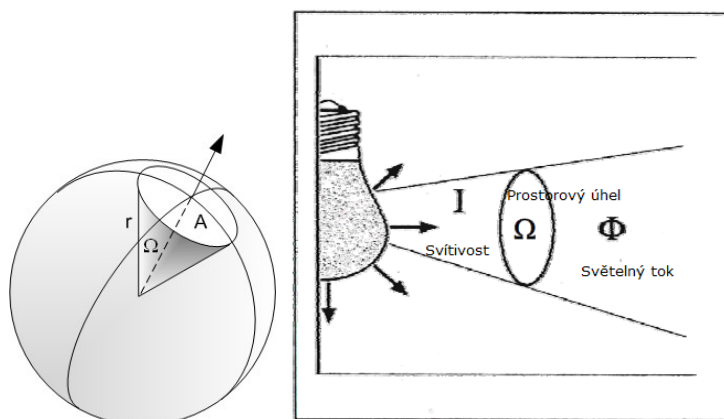
Prostorový úhel představuje část prostoru, který je vymezen kuželovou plochou, jenž na kouli o poloměru r vytvoří plochu A . Vrchol takového kužele je ve středu koule. Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr).

$$\Omega = \frac{dA}{r^2}$$

1.4

Kde

 Ω prostorový úhel (sr) A plocha (m²) r poloměr (m)



Obr. 2: Vymezení prostorového úhlu [1]

Maximální hodnota prostorového úhlu Ω je 4π , za povrch A budeme považovat povrch celé koule. [1]

1.3 Osvětlenost

Osvětlenost, nebo také intenzita osvětlení, představuje další z odvozených fotometrických veličin. Udává hodnotu světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu. Je tedy podílem světelného toku a plochy. Jednotkou intenzity osvětlení je lux (lx). Osvětlenost 1 lx charakterizuje dopad světelného toku 1 lm na plochu 1 m².

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

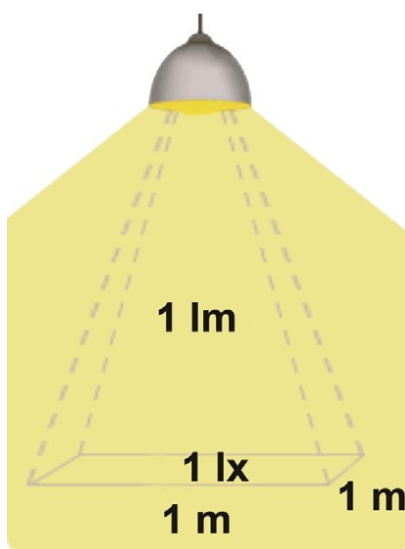
1.5

kde

E osvětlenost (lx)

Φ velikost světelného toku dopadajícího na plochu (lm)

A plocha, na kterou dopadá světelný tok (m²)



Obr. 3: Definice osvětlenosti [1]

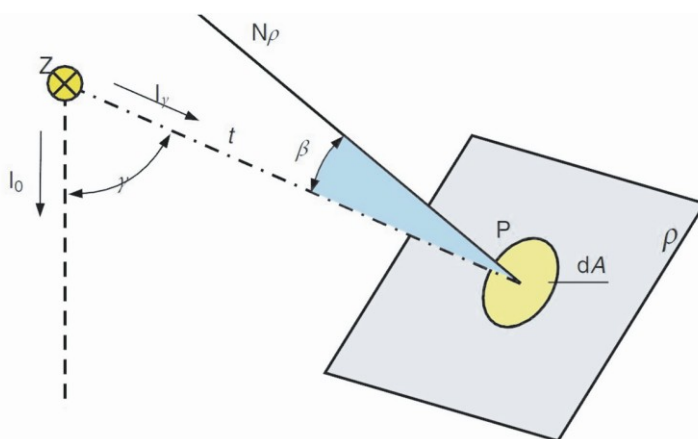
Osvětlení plochy se zmenšuje s rostoucí vzdáleností od zdroje. Její intenzita také závisí na úhlu paprsků dopadajících na plochu, přičemž nejlépe je osvětlena plocha, na níž dopadají světelné paprsky kolmo.

Osvětlenost bodového zdroje lze vyjádřit pomocí svítivosti, a to na základě tzv. čtvercového a kosinového zákona. Na obr. 4 je zobrazena rovina ρ , na které je ze vzdálenosti l osvětlen bod P, jehož bezprostřední okolí tvoří plocha dA . Normála roviny N_ρ svírá s paprskem světla úhel β . Hodnotu intenzity osvětlení pak určíme pomocí svítivosti I_γ ze vztahu:

$$E = \frac{I_\gamma \cos \beta}{l^2}$$

1.6

Kde:

 E osvětlenost (lx) I_γ svítivost pod úhlem γ ke svítivosti I_0 (cd) β úhel, svírající dopadající paprsek s normálou plochy l vzdálenost světelného zdroje od plochy (m)

Obr. 4: Definice osvětlenosti bodového zdroje [1]

Z rovnice je patrné, že intenzita osvětlení v daném bodě P klesá s rostoucí vzdáleností l světelného zdroje od tohoto bodu se čtvercem vzdálenosti. Osvětlenost je zároveň přímo úměrná hodnotě kosinu úhlu β : se vzrůstajícím úhlem β klesá osvětlenost. Svítivost I_γ představuje hodnotu, která je odečtena s úhlem γ ke svítivosti I_0 , viz obr. 4. Maximální osvětlenosti je dosaženo v případě, kdy bude normála roviny svírat s dopadajícím paprskem úhel $\beta=0$. Hodnota kosinu pak bude mít maximální hodnotu. V tomto případě mluvíme o normálové osvětlenosti E_N .

Přístroj, kterým se měří osvětlení, se nazývá luxmetr. Pomocí tohoto zařízení si můžeme snadno změřit osvětlenost prostoru, ve kterém chceme vykonávat určitou činnost. V kontrolních bodech na určité ploše se naměří hodnoty osvětlenosti a následně pospojují stejné hodnoty křivkami (izoluxami), které vytvoří izoluxní mapu. [1][3]

1.4 Světlení

Světlení je fotometrická veličina definující plošnou hustotu světelného toku, jenž je vyzařován z plochy. Definuje tedy velikost světelného toku vycházejícího z této plochy.

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad 1.7$$

kde

M světlení ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$)

Φ velikost světelného toku vyzařován z plochy (lm)

A plocha, ze které světelný tok vyzařuje (m^2) [1]

1.5 Jas

Jas je fotometrická veličina definovaná jako měrná svítivost. Označuje se L a udává se v kandele na metr čtvereční ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$). Je to veličina, na kterou oko přímo reaguje (přesněji řečeno oko reaguje na kontrast jasů).

Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Proto vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru jeho pohledu. Nezáleží přitom, zda vychází jas svazku paprsků přímo ze zdroje záření, nebo je odražen od libovolné plochy. [1]

$$L = \frac{I}{S_p} \quad 1.8$$

kde

L jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

I svítivost (cd)

S_p průmět svítící plochy (m^2)

1.5.1 Jas svítidel

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průměru svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru. [1]

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\gamma} = \frac{dI}{dA \cdot \cos\gamma} \quad 1.9$$

kde

L jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

Φ světelný tok (lm)

Ω prostorový úhel (sr)

I svítivost (cd)

A plocha viditelná pozorovatelem (m^2)

γ úhel mezi normálou osvětlené plochy a směrem paprsku

1.5.2 Kontrast jasů

Viditelnost předmětů je dána absolutní hodnotou rozdílu jasů pozorovaného předmětu L_a a jeho okolí L_b . Kontrast jasů, pomocí kterého posuzujeme viditelnost předmětů, je definován pomocí vztahu:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad 1.10$$

Kde

K kontrast (-)

L_a jas předmětu ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

L_b jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) [1]

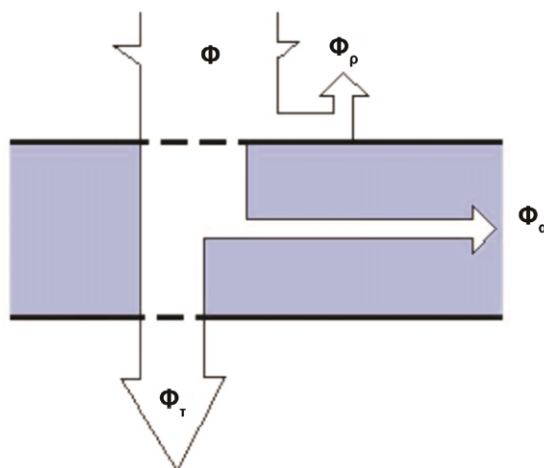
Negativní kontrast – jas předmětu je větší (světlejší) než jas pozadí (tmavší).

Pozitivní kontrast – jas předmětu je menší (tmavší) než jas pozadí (světlejší).

1.6 Materiálové vlastnosti

Spektrální činitelé popisují světelně-technické vlastnosti materiálu – odraznost materiálu $\rho(\lambda)$, pohltivost $\alpha(\lambda)$ a propustnost $\tau(\lambda)$. Činitelé závisí na vlnové délce dopadajícího záření. Platí pro ně vztah:

$$\rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1 \quad 1.11$$



Obr. 5: Rozdělení světelného toku v závislosti na činitelích odrazu, pohltivosti a propustnosti [1]

Světelný tok Φ (obr. 5) dopadající na materiál lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha = \Phi \quad 1.12$$

Kde:

Φ_ρ světelný tok odražený (lm)

Φ_τ světelný tok, který projde materiálem (lm)

Φ_α světelný tok, jenž je pohlcen materiálem (lm)

Pak odraznost materiálu je:

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi} \quad 1.13$$

Pohltivost:

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad 1.14$$

Propustnost:

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi} \quad 1.15$$

Pomocí výše uvedených vztahů lze popsat chování některých materiálů. Například absolutně černé těleso pohlcuje veškeré dopadající záření, jeho chování se dá popsat následovně:

$$\alpha = 1 \quad (\tau = 0, \rho = 0)$$

Pro neprůsvitné materiály platí:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (\tau = 0)$$

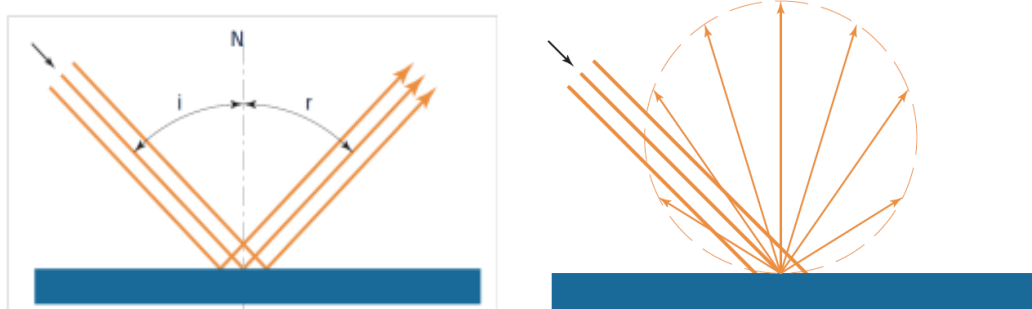
Látky, kterými se běžně světlo šíří (vzduch) se považují za dokonale průsvitné:

$$\tau = 1 \quad (\rho = 0, \alpha = 0). [1]$$

1.6.1 Lambertův zářič

Světelně-technické vlastnosti materiálů lze popsat podle toho, v jakých směrech a jak odráží nebo propouští světelné záření. V nejjednodušším případě se paprsek odráží pod stejným úhlem, pod jakým dopadl. Tomuto odrazu se říká zrcadlový odraz. Pokud je povrch materiálu nepravidelný, dochází ke smíšenému odrazu. Při tomto odrazu se paprsek s nejvyšší intenzitou odráží pod stejným úhlem, pod jakým dopadl, ale také dochází k odrazu paprsků s nižší intenzitou pod jinými úhly.

Dalším případem je difúzní odraz (Lambertův zářič). Při něm dochází k rovnoměrnému rozptylu odraženého záření do celého prostoru.



Obr. 6: Vlevo ideální (zrcadlový) odraz a vpravo difúzní odraz (Lambertův zářič) [1]

Rovnice, která platí pro Lambertův zářič:

$$\rho \cdot E = \pi \cdot L \quad 1.16$$

Kde

| | |
|--------|---|
| ρ | Činitel odrazu (-) |
| E | intenzita osvětlení na posuzované ploše (lx) |
| L | jas posuzované plochy ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) [1] |

1.7 Střední válcová osvětlenost

Pro posuzování osvětlenosti umělými zdroji světla ve veřejných a společenských prostorech je důležité znát rozložení intenzity jasu nebo osvětlenosti na svislých plochách, protože v těchto místech je směr pozorování většinou ve vodorovném směru.

Má-li tedy v daném prostoru na zrakový vjem pozorovatele rozhodující vliv výše a rozložení jasu, popř. osvětlenosti na svislých plochách, lze skutečný přijímač záření nahradit modelovým přijímačem ve tvaru válečku se svislou osou s neprůsvitnými podstavami a s rozměry (průměrem podstavy D a výškou h) zanedbatelnými ve srovnání se vzdáleností uvažovaných zdrojů od kontrolního bodu. Celková dostatečnost osvětlení takového prostoru hodnocená v určitém místě, do kterého se umístí modelový přijímač, se pak posuzuje podle střední hodnoty osvětlenosti povrchu pláště zmíněného válečku

Střední válcová osvětlenost je rovna střední hodnotě osvětlenosti všech svislých rovin v uvažovaném bodě světelného pole. [1]

Udržovaná střední válcová osvětlenost (průměrná osvětlenost svislé roviny) ve vnitřních prostorech nesmí být menší než 50 lx s $U_o > 0,1$ na vodorovné rovině ve stanovené výšce: 1,2 m pro sedící osoby a 1,6 m pro stojící osoby nad podlahou. V prostorech, kde je důležitá dobrá vizuální komunikace je důležité, zvláště v kancelářích, zasedacích místnostech a učebnách, by neměla být menší než 150 lx při $U_o \geq 0,1$. [2]

1.8 Oslnění

1.8.1 Oslnění ve vnitřních prostorech

Jedná se hlavně o oslnění relativní, které může být způsobeno buď přímo zdroji světla, svítidly, nebo odrazy od lesklých povrchů. Oslnění je takový nepříznivý stav zraku, při kterém je narušena zraková pohoda, je zhoršeno nebo znemožněno vidění. Podle stupně působení může být oslnění rušivé (psychologické), omezující (fyziologické) a oslepující (absolutní).

1.8.1.1 Rušivé oslnění

Narušuje zrakovou pohodu a při tom zdánlivě není zhoršeno nebo omezeno vidění. Je to způsobeno tím, že oslňující zdroj poutá pozornost na úkor místa, na které by se měl zrak soustředit. Důsledkem je rozptýlení pozornosti, pocit nepříjemného stavu apod.

1.8.1.2 Omezující oslnění

Vyšší stupeň oslnění, při němž jsou již měřitelně narušeny některé funkce zraku, je ztíženo rozeznávání, vidění se stává namáhavé, vzniká pocit nejistoty, únavy a produktivita práce klesá.

1.8.1.3 Oslepující oslnění

Tak intenzivní oslnění, že znemožňuje vidění a trvá někdy i určitou dobu po zániku příčiny oslnění. V mnoha případech a zvláště v dopravě je takový stav velmi nebezpečný. Jas, který vyvolává absolutní oslnění, se nazývá kritický jas. Tomuto jasu není již zrak schopen se adaptací přizpůsobit. Kritický jas závisí na předchozím stavu adaptace. Tak například v podmínkách přírodního osvětlení může být kritický jas roven i hodnotě $200\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (což přibližně odpovídá jasu mdlené žárovky 200 W), zatímco při umělém osvětlení může být pozorovatel absolutně oslněn i jasnem $3000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, popřípadě ve velmi tmavém prostředí též pouze jasnem $1000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

1.8.1.4 Přejížděvé oslnění

Nastává při náhlé změně jasu zorného pole, jelikož adaptace zraku neprobíhá současně se změnou jasu, ale s určitým zpožděním. K takovému stavu dochází například při náhlém přechodu z tmavého prostředí do světlého nebo při rozsvícení. Zraková pohoda může být narušena již při poměru jasu 1 : 10; oslnění nastává, překročí-li poměr jasů v zorném poli hodnotu asi 1 : 100. Přejížděvé oslnění pozvolna mizí s postupnou adaptací oka.

1.8.1.5 Oslnění kontrastem

Vzniká, jsou-li v zorném poli současně plochy s velmi různým jasnem. Zdrojem oslnění mohou být dvě různě světlé plochy, necloněné světelné zdroje nebo svítidla kontrastující s tmavým pozadím. K narušení zrakové pohody, popřípadě ke vzniku oslnění kontrastem dochází asi při stejných poměrech jasů jako u přejížděvého oslnění. Oslnění kontrastem je v osvětlovacích soustavách nejčastější a oko se mu nemůže přizpůsobit adaptací. Oslnění kontrastem proto působí nejvíce obtíží. Možnosti vzniku oslnění kontrastem se snižují při vyšších průměrných hladinách osvětlenosti.

1.8.1.6 Závojové oslnění

Vzniká, vyskytuje-li se mezi okem a pozorovaným předmětem jasnější prostředí, kalné nebo s poměrně jemnou strukturou jako záclona, znečištěné sklo, déšť, mlha. Větší jas závoje nutí zrak k adaptaci na vyšší úroveň jasu, než jaká odpovídá jasu pozadí, a tím se zmenšuje rozeznatelnost tvaru i kontrastu. Závojové oslnění vzniká například při pohledu do mlhy před automobilovými světly, při pohledu zvenku do místnosti oknem, v němž se zrcadlí obloha nebo za níž je záclona.

1.8.1.7 Přímé oslnění

Způsobeno přílišným jasem nebo světelným kontrastem zdroje v zorném poli, jaký dávají například světelné zdroje bez svítidel nebo povrchové plochy svítidel s přílišným jasem. Aby se zamezilo oslnění při umělém osvětlení, je třeba, aby přímé světlo zdroje nepřicházelo k oku pod úhlem menším než 30° nad vodorovnou rovinou, popřípadě nad obvyklým směrem pohledu. Proto se svítidla zavěšují dostatečně vysoko nebo se používá vhodně upravených svítidel. Je nutno zamezit oslnění svítidly místního přisvětlení a v soustavách sdruženého osvětlení též možnému oslnění od oken.

1.8.1.8 Oslnění odraženým světlem

Vzniká odrazy od stropů, stěn, od desek stolů nebo jiných povrchů v zorném poli. Velký jas může vzniknout zejména, jsou-li plochy hladké nebo zrcadlově lesklé, jako například vysoce leštěné součásti strojů, jemně opracované plochy, lakované povrchy apod. Jas způsobený odrazem světla unavuje často více než jas přímý, zvláště je-li přímo v pohledu a oko se mu nemůže vyhnout. Nápravy lze dosáhnout vhodným umístěním a směřováním svítidel.

1.8.2 Činitel rušivého oslnění

Činitel rušivého oslnění způsobené přímo svítidly osvětlovací soustavy vnitřního prostoru musí být stanoven jednotným systémem hodnocení oslnění *UGR* (Unified Glare Rating). [1]

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad 1.17$$

Kde:

L_b jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

L jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele v ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

ω prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele (sr)

p činitel polohy pro každé svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu (-)

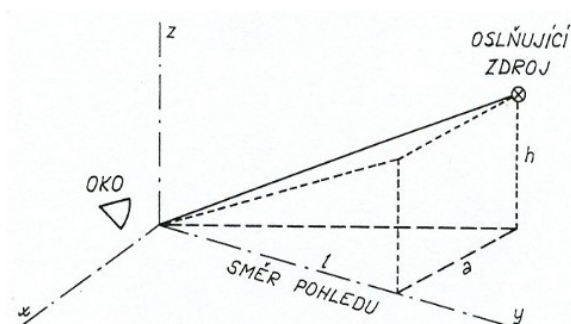
Jas pozadí L_b se počítá z hladiny nepřímé osvětlenosti E_n v rovině oka pozorovatele.

$$L_b = \frac{1}{\pi} E_n \quad 1.18$$

Kde:

L_b jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

E_n nepřímá osvětlenost (lx)



Obr. 7: Geometrické uspořádání oslňujícího zdroje a oka pozorovatele [6]

Legenda:

- l vzdálenost oka pozorovatele od roviny proložené oslňujícím zdrojem kolmo k ose pohledu (m)
- h výška oslňujícího zdroje na vodorovnou rovinou proloženou osou pohledu (m)
- a boční vzdálenost oslňujícího zdroje od vertikální roviny proložené osou pohledu (m)

Tab. 1: Mezní hodnoty indexu oslnění UGR podle mezinárodních a evropských doporučení [6]

| Pracoviště | | UGR |
|-----------------------|--------------|-----|
| pracoviště s počítači | | 16 |
| kanceláře, dozorny | | 19 |
| průmyslová pracoviště | jemná výroba | 22 |
| | běžná výroba | 25 |
| | hrubá výroba | 28 |

2 Rozbor jasových poměrů v místech zrakových úkolů

Pro člověka, který vykonává jakoukoliv práci závislou na zrakové činnosti, musí být vytvořeny jisté podmínky pro dobré vidění. Požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením tří základních lidských potřeb, a sice zrakové pohody, zrakového výkonu a bezpečnosti. Mezi hlavní parametry určující světelné prostředí patří rozložení jasu, osvětlenost, oslnění, směrovost světla, podání barev a barevný tón světla, míhání světla, denní světlo. Požadavky na osvětlení místa zrakových úkolů specifikuje norma ČSN EN 12464-1.

Místo zrakových úkolů je prostor, kde se nachází vizuální prvky vykonávané činnosti. Ve školském zařízení to je především plocha tabule a lavice. [2]

2.1 Rozložení jasu

Úroveň adaptace zraku určuje rozložení jasu v zorném poli, které ovlivňuje viditelnost úkolu. Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení:

- ostrosti vidění,
- kontrastní citlivosti (rozlišení malých poměrných rozdílů jasu),
- účinnosti zrakových funkcí (jako akomodace – přizpůsobení oka vzdálenosti předmětu, konvergence – sbíhání optických os obou očí při pohledu na předmět vzdálený od očí méně než 30 cm, zmenšování zornice, očních pohybů atd.).

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu je nutné vyloučit:

- příliš velké jasy, jež mohou způsobit oslnění,
- příliš velké kontrasty jasu, jež mohou způsobit únavu v důsledku trvalé readaptace zraku,
- příliš malé jasy a kontrasty jasu, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí.

K vytvoření vyváženého rozložení jasu všech povrchů musí být vzaty v úvahu a určeny činitele odrazu a osvětlenosti povrchů. Ke zvýšení adaptační úrovně a pohody osob v budově jsou velmi žádoucí světlé povrchy interiéru – zvláště stěn a stropu.

2.2 Činitele odrazu povrchů

Doporučený rozsah činitelů odrazu ρ hlavních rovnoměrně rozptýlných povrchů místnosti:

- | | |
|-----------|------------|
| • strop | 0,7 až 0,9 |
| • stěny | 0,5 až 0,8 |
| • podlaha | 0,2 až 0,4 |

Činitel odrazu hlavních předmětů (např. nábytku, strojního vybavení apod.) má být v rozsahu 0,2 až 0,7.

2.3 Osvětlenost

Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zrakový úkol.

Rovnoměrnost osvětlení U_o je poměr minimální a průměrné osvětlenosti na uvažovaném povrchu.

2.3.1 Osvětlenost povrchů

Ve všech uzavřených prostorech musí udržovaná osvětlenost hlavních povrchů mít tyto hodnoty:

- $E > 50 \text{ lx}$ při $U_o \geq 0,1$ na stěnách.
- $E > 30 \text{ lx}$ při $U_o \geq 0,1$ na stropu.

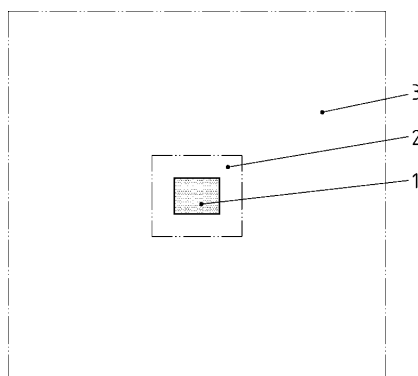
Kde U_o je rovnoměrnost osvětlení místa úkolu.

Doporučená řada osvětlenosti poskytující vnímané rozdíly je podle EN 12665:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000 lx.

2.3.2 Osvětlenosti zrakového úkolu

Hodnoty pro udržované osvětlenosti v místech zrakového úkolu jsou měřeny na srovnávací rovině, jež může být vodorovná, svislá nebo nakloněná. Průměrná osvětlenost pro každý zrakový úkol nesmí klesnout pod určenou hodnotu bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy.



Obr. 8: Minimální rozměry bezprostředního okolí a pozadí úkolu ve vztahu k místu zrakového úkolu [2]

Legenda:

- 1 – místo zrakového úkolu,
- 2 – bezprostřední okolí zrakového úkolu (pás aspoň 0,5 m kolem místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole),
- 3 – pozadí zrakového úkolu (aspoň 3 m široká přilehlá plocha k bezprostřednímu okolí úkolu v mezích prostoru)

Velké prostorové změny osvětleností v okolí úkolu mohou způsobit namáhání zraku a zrakovou nepohodu. Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu souvisí s osvětlením místa zrakového úkolu a má poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli. Bezprostřední okolí úkolu má tvořit pás o šířce aspoň 0,5 m kolem místa úkolu v zorném poli (obr. 9). Optimální poměr jasů místa úkolu k jasům bezprostředního okolí a k jasům pozadí je 10 : 4 : 3.



Obr. 9: Vymezení prostoru zrakového úkolu [6]

Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu může být menší než osvětlenost úkolu, avšak nesmí být menší než hodnoty uvedené v tab. 2. Velikost a poloha bezprostředního okolí úkolu má být stanovena a zdokumentována.

Tab. 2: Vztah mezi osvětleností bezprostředního okolí úkolu a osvětleností v místě zrakového úkolu [2]

| Osvětlenost místa zrakového úkolu $E_{\text{úkol}} \text{ (lx)}$ | Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx) |
|--|--|
| ≥ 750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| 200 | 150 |
| 150 | $E_{\text{úkol}}$ |
| 100 | $E_{\text{úkol}}$ |
| ≤ 50 | $E_{\text{úkol}}$ |

2.3.3 Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlení U_o je poměr minimální a průměrné osvětlenosti povrchu. Při osvětlení umělým světlem nebo světly:

- V místě zrakového úkolu $U_o > 0,7$.
- Bezprostředního okolí úkolu musí být $U_o > 0,4$.
- Pozadí úkolu musí být $U_o > 0,1$.

2.4 Školská zařízení

Požadavky na osvětlení ve školských zařízeních jsou uvedeny v tabulce 3 a 4.

Tab. 3: Požadavky na osvětlení: školská zařízení obecně

| Druh prostoru | E (lx) | ρ (–) | U_o (–) |
|-------------------------------------|-------------|---------------|--------------|
| místo zrakového úkolu | | | > 0,7 |
| bezprostřední okolí zrakového úkolu | | | > 0,4 |
| pozadí úkolu | | | > 0,1 |
| podlaha učebny | | 0,2 až 0,4 | |
| stěny učebny | > 50 | 0,5 až 0,8 | > 0,1 |
| strop učebny | > 30 | 0,7 až 0,9 | > 0,1 |
| hlavní předměty | > 300 | 0,2 až 0,7 | |

Tab. 4: Požadavky na osvětlení: školská zařízení [2]

| Druh prostoru | E (lx) | UGR (–) | U_o (–) | R_a (–) | Specifické požadavky |
|---|-------------|--------------|--------------|--------------|--|
| učebny, konzultační místnosti | 300 | 19 | 0,6 | 80 | osvětlení má být regulovatelné |
| černé, zelené a bílé tabule | 500 | 19 | 0,7 | 80 | zrcadlové odrazy je nutno zamezit přednášející/učitel musí být osvětlen vhodnou vertikální osvětleností |
| demonstrační stůl | 500 | 19 | 0,7 | 80 | v přednáškových sálech 750 lx |
| místnosti pro praktickou výuku a laboratoře | 500 | 19 | 0,6 | 80 | |
| počítačové učebny (s volitelným programem) | 300 | 19 | 0,6 | 80 | |

2.4.1 Vyhláška 410/2005 Sb.

Parametry umělého osvětlení ve vnitřních prostorech budov zařízení pro výchovu a vzdělávání musí odpovídat normovým požadavkům normy ČSN EN 12464-1 upravující požadavky na umělé osvětlení pro vnitřní pracovní prostory.

Osvětlenost bílé tabule musí mít nejméně stejnou úroveň jako osvětlenost učebny. Tabule, na které se píše křídou, musí mít matný povrch. Ze všech pracovních míst ve směru pohledu na tabuli musí být vyloučeno zrcadlení svítidel na tabuli. Svítidla na pracovišti u zobrazovacích jednotek musí být vhodně rozmístěna, aby žáci nebyli oslňováni, a mít takové

rozložení jasů a úhly clonění, aby se nezrcadlila na zobrazovací jednotce a nedocházelo ke ztížení zrakového úkolu. Soustava svítidel umělého osvětlení se umísťuje na strop rovnoběžně s okenní stěnou.

Za místo zrakového úkolu je považován prostor s lavicemi nebo stůl učitele a za bezprostřední okolí zrakového úkolu je považován prostor místnosti sloužící výuce. Výška horizontálních srovnávacích rovin pro návrh a posouzení osvětlení místa zrakového úkolu u umělého osvětlení je stejná jako převládající výška lavic. Osvětlovací soustavy musí být čištěny a obnovovány ve lhůtách daných plánem údržby v souladu s projektem osvětlení a musí být udržovány v takovém stavu, aby požadované vlastnosti osvětlení byly splněny po celou dobu života osvětlovací soustavy.

3 Měření a vyhodnocování jasů ve vnitřních prostorech (normy, předpisy)

Měření umělého osvětlení ve vnitřních prostorech definují normy ČSN 36 0011-1 a ČSN 36 0011-3. Umělé osvětlení vnitřních prostorů se vzhledem k jeho relativní stálosti, měří a vyhodnocuje v absolutních veličinách: osvětlenost E a jas L . Měří se jasy ploch v zorném poli uživatele, důležitých pro vidění a zrakovou pohodu. Musejí být definovány podmínky, za kterých se měří.

Při měření umělého osvětlení musí být jednoznačně stanoveny druhy osvětlení, které se měří, podle jejich účelu:

- a. normální osvětlení:
 - hlavní osvětlení (celkové, odstupňované, místní, kombinované),
 - pomocné osvětlení,
 - bezpečnostní osvětlení,
- b. nouzové osvětlení
 - nouzové únikové (únikových cest, protipanické, prostoru s velkým rizikem) a náhradní osvětlení,
- c. doplňující umělé osvětlení (součást sdruženého osvětlení),
- d. technologické osvětlení (měří se podle této normy jen tehdy, neplatí-li pro ně jiný předpis, např. norma).

Jednotlivé druhy umělého osvětlení se měří a vyhodnocují samostatně tak, aby se vzájemně neovlivňovaly. U každého druhu osvětlení se musí při měření zachovat takové podmínky, za kterých se ve skutečnosti používá.

3.1 Jasoměry a jasové analyzátory

Jasoměry se skládají ze snímače s fotočlánkem s vysokou citlivostí a spektrálním přizpůsobením citlivosti oka, tedy dle křivky fotopického vidění $V(\lambda)$, optického systému pro vymezení prostorového úhlu a z měřicího a vyhodnocovacího systému.



Obr. 10: Jasoměr LS-100 [1]

Jasový analyzátor je v podstatě digitální fotoaparát, který má opticky nebo softwarově upravenou citlivost podle křivky citlivosti lidského oka $V(\lambda)$. Na rozdíl od klasického jasoměru umožňuje jasový analyzátor snímat jasové mapy s rozlišovací schopností danou prostorovým

úhlem snímaným jedním pixelem (makropixelem). K navýšení dynamického rozsahu snímaných jasových map je využíváno softwarové překrývání několika identických snímků pořízených při různých expozicích. Vyhodnocení jasů se provádí pomocí software, například Lumidisp nebo LMK 2000. [1]

Měřicí přístroje se musí pravidelně kalibrovat prostřednictvím pověřeného pracoviště ve lhůtách odpovídajících údajům výrobce. Je nutné, aby tyto lhůty pro kalibraci byly maximálně:

- 2 roky přístrojů pro přesné měření,
- 3 roky u přístrojů pro provozní měření,
- 5 let u přístrojů pro orientační měření.

Úhel měřeného pole u jasoměru musí odpovídat podmínkám měření, zejména velikosti a vzdálenosti měřené plochy. Pro měření jasů malých a vzdálených ploch nemá být úhel větší než 1°. Pro měření průměrných jasů blízkých a velkých ploch se používá jasoměrů s úhlem měřeného pole do 10°, výjimečně lze použít i časoměrů s úhlem do 20°, je-li zabezpečeno, že nebude výsledek měření zkreslen jasy okolních ploch.

Jasoměr pro přesné měření má být přizpůsoben pro upevnění na stojan. [7]

3.2 Výběr kontrolních bodů

Jas ploch ve vnitřních prostorech se měří tak, aby bylo možné posoudit jejich rozložení v zorném poli uživatelů vnitřního prostoru. Jako kontrolní body se volí charakteristická místa uživatelů se zřetelem k obvyklému směru pohledu. Měří se ve výšce očí pozorovatele (např. na pracovním místě) pro standardní výšku u stojící osoby 150 cm a u sedící 120 cm nad podlahou. [7]

3.3 Příprava měření

Před vlastním měřením ve vnitřních prostorech se zjistí důležité okolnosti související s osvětlením a podmínky měření se zabezpečí tak, aby probíhalo bez závad a poskytlo všechny potřebné údaje v náležité kvalitě. V rámci přípravy se stanoví hlavně tyto údaje:

- Tvar a rozměry vnitřního prostoru, jeho konstrukční řešení (obvykle podle stavebních výkresů) a orientace ke světovým stranám.
- Funkce vnitřního prostoru.
- Druh a rozmístění zrakových činností, jejich obtížnost, případně riziková místa
- Zařízení vnitřního prostoru a jeho rozmístění.
- Údaje o osvětlovací soustavě: druh osvětlovacích soustav v daném vnitřním prostoru, jejich regulace; druh, typ a výrobce světelných zdrojů, jejich přibližné stáří, vlastnosti (jmenovité napětí, příkon, světelný tok, teplota chromatičnosti, index podání barev atd.); druh, typ a výrobce svítidel, jejich stav, vlastnosti (účinnost, světelný tok, svítivost, jasy povrchů, druh předřadníků atd.).
- Druh a stupeň přesnosti měření.
- Měřené veličiny.
- Potřebné měřicí přístroje a pomocné vybavení.
- Rozmístění kontrolních bodů. [7]

3.4 Postup při měření

Před měřením se kontroluje stav a funkce měřicích přístrojů. Kontroluje se čistota všech důležitých součástí přístroje (znečištění nebo zaprášení může způsobit závažné chyby i u velmi přesných přístrojů) a napětí napájecích zdrojů.

Osvětlovací soustavy se uvedou do stavu, který je běžný při daném způsobu užívání vnitřního prostoru, případně i včetně zařízení pro regulaci osvětlení (např. zatažené záclony, závěsy, rolety, žaluzie atd.). Současně se podle možnosti zjistí údaje o stavu údržby vnitřního prostoru a osvětlovacích soustav (lhůty údržby, znečištění, stáří, atd.).

Pro měření umělého osvětlení musí být dodržena minimální doba předběžného stárnutí světelných zdrojů, žárovky musí svítit celkem nejméně 10 hodin, výbojové zdroje (včetně zářivek) nejméně 100 hodin.

Před začátkem měření se zapne umělé osvětlení s takovým předstihem, aby se světelný tok stabilizoval. Za stabilizovaný se považuje tehdy, kdy měřená hodnota osvětlení při měření s odstupem několika minut třikrát po sobě nevykazuje systematické změny. Při stanovení doby stabilizace se berou v úvahu i údaje výrobce. U výbojových zdrojů se považuje za minimální dobu stabilizace světelného toku 20 minut, při uzavřených svítidlech může být tato doba ještě delší (ustálení provozní teploty).

Před zahájením měření se kontroluje, zda není měření ovlivněno cizím světlem (světlem, které není součástí osvětlovací soustavy, např. světlem pronikajícím ze sousedního prostoru, denní osvětlení při měření umělého osvětlení, osvětlení jiného druhu a účelu).

Jasy ploch v zorném poli uživatelů vnitřního prostoru, důležitých pro vidění a zrakovou pohodu se měří bodovými časoměry (zorné úhly do 1°) v určených kontrolních bodech.

Měřicí přístroje se musí před měřením i během něho chránit před škodlivými vlivy, které mohou nepříznivě ovlivnit výsledky měření, zejména před otřesy, vyššími nebo nižšími teplotami, vlhkostí, a před vyššími hodnotami osvětlení, než je měřicí rozsah přístroje.

Při přesném měření se postup opakuje tak, aby statistický soubor byl dostatečně velký pro stanovení střední hodnoty. Podmínky měření při opakování musí být stejné. [7]

3.5 Měření jasů ploch

Jasy ploch v zorném poli uživatelů vnitřních prostorů, důležitých pro vidění a zrakovou pohodu se měří bodovými časoměry (zorné úhly do 1°) v kontrolních bodech. Měří se zejména jasy těchto ploch:

- Jas pozorovaného předmětu, případně pozorovaného detailu.
- Jas ploch bezprostředně obklopující pozorovaný předmět.
- Jas vzdálených ploch (stěny, podlaha, vnitřní zařízení, světelně aktivní plochy, atd.).
- Jas případných reflexů velmi jasných ploch, které mohou vznikat na lesklém nebo pololesklém povrchu v zorném poli (na pozorovaném předmětu, na podlaze, na pracovní ploše atd.).

Při měření ploch s nerovnoměrným jasnem (při nerovnoměrném osvětlení plochy, při rozdílné odraznosti jednotlivých částí plochy atd.) se měřením stanoví charakteristické parametry jasu plochy (nejmenší a největší jas, průměrný jas) a podle možnosti i plošné zastoupení těchto hodnot (podíl z celkové plochy).

Měření pro zajištění průměrného jasu se provádí pro síť kontrolních bodů bodovým jasoměrem nebo jasoměrem s větším zorným úhlem pro celou plochu nebo její vzorek. Přitom nesmí dojít k ovlivnění měření jasem okolních ploch.

Ve vnitřních prostorech se zrakovými činnostmi, které mohou být nepříznivě ovlivněny odrazem světla od lesklých nebo pololesklých povrchů v zorném poli (např. pracoviště s obrazovkami, pracoviště s lesklými nebo pololesklými povrchy pracovní plochy nebo předmětu pozorování) se zjišťují jasy svítidel i v úhlech, které jsou pro vytváření odrazů kritické (z míst na odrážející ploše). [7][8]

3.6 Vyhodnocení měření

Změřené hodnoty se upraví podle vlastností měřicích přístrojů na základě údajů výrobce, podle výsledků kalibrace přístrojů, podle vlastností měřeného prostoru a podmínek měření všemi podstatnými korekčními činiteli tak, aby se co nejvíce omezily chyby měření a aby se výsledky co nejvíce přiblížily skutečnosti (spektrální chyba, směrová chyba, chyba linearity, vliv teploty, vliv znečištění, atd.).

Výsledné hodnoty se sestaví do přehledných tabulek označených tak, aby bylo možné u každé hodnoty identifikovat místo měření podle výkresu, nebo se uvedou přímo na výkresu ke kontrolním bodům. Rozložení světla ve vnitřním prostoru se doporučuje znázornit v jeho půdorysu graficky.[7]

4 Návrh osvětlovací soustavy v učebnách pro vybrané typy tabulí

Cílem osvětlovací soustavy určitého prostoru je vytvořit v něm v souladu s jeho určením co nejpríznivější podmínky pro požadovanou činnost lidí. Při návrhu osvětlení se tvoří světelné prostředí, jehož cílem je uspokojit tři základních lidských potřeb, a sice zrakové pohody, zrakového výkonu a bezpečnosti. Zraková pohoda je stav, kdy osoba dobře vidí, rozlišuje potřebné detaily a v prostředí se cítí příjemně, což podporuje psychologickou pohodu lidí.

Školská a vzdělávací zařízení patří mezi prostory s vyšší zrakovou náročností. Proto je zde požadováno splnění požadavků na kvalitu umělého osvětlení podle normy ČSN EN 12464-1-2011. Při nevyhovujících zrakových podmínkách (nedostatečné osvětlení, příliš velké kontrasty, oslnění a jiné) roste zraková zátěž. Ta velmi úzce souvisí s poruchami soustředění, změnami nálad i sníženou motivací k práci.

Pro návrh osvětlovací soustavy se v dnešní době používají světelně-technické výpočetní programy, jako například Wils, Relux nebo Dialux. Pro tuto práci byl vybrán program Relux. [1][5]

4.1 Relux Suite

Programový balíček Relux Suite je volně stažitelný software firmy RELUX. Součástí balíčku jsou programy ReluxPro, ReluxSensor, ReluxOffer a ReluxEnergy.

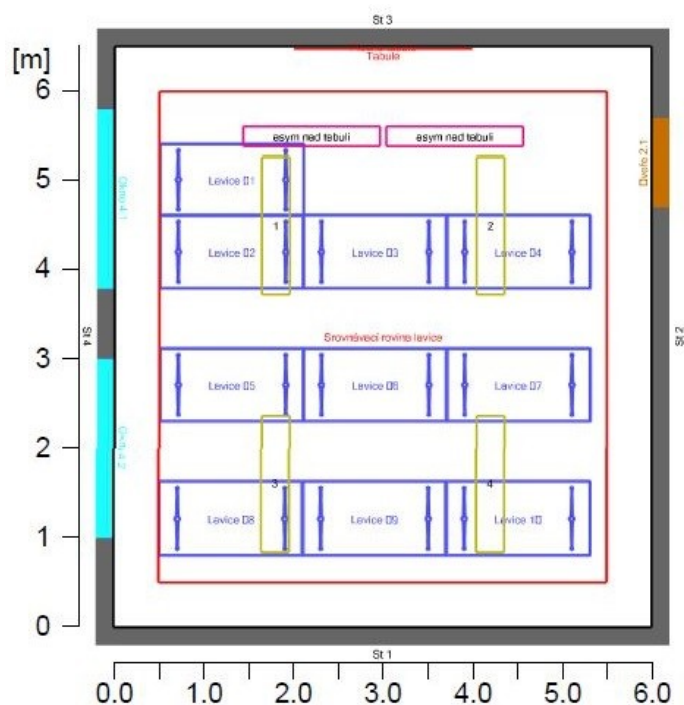
Program ReluxPro nabízí přepínatelné 2D / 3D prostředí, práci s několika formáty světelně-technických dat a možnost importovat charakteristiky jednotlivých svítidel. Pomocí tohoto programu je možné počítat umělé, denní, sdružené i nouzové osvětlení. V programu je obsaženo velké množství vnitřního vybavení, nábytku, materiálu a textur pro možný výpočet vnitřního, venkovního a pouličního osvětlení. Je možné importovat půdorysné podklady z CAD programu.

4.2 Návrh osvětlovací soustavy učebny

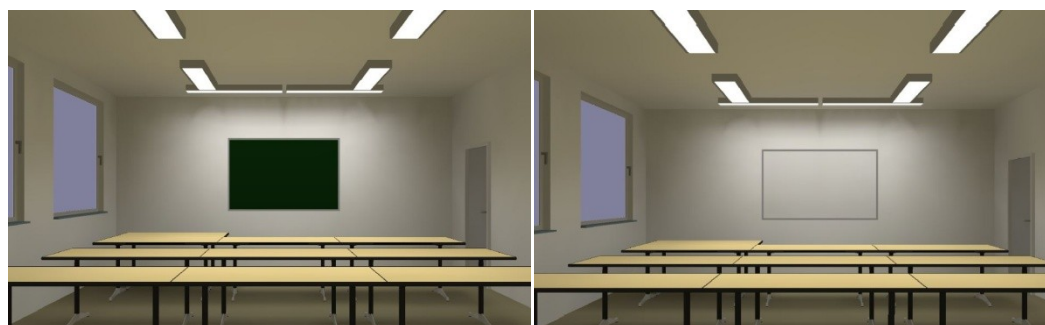
Návrh osvětlovací soustavy je proveden pro učebnu obdélníkového tvaru o rozměrech 6 x 6,5 x 2,9 m. Návrh byl proveden pro dvě varianty: bílá tabule s činitelem odrazu $\rho = 0,7$ a tmavě zelená s činitelem odrazu $\rho = 0,15$. Třída má bíle natřený strop a tři stěny, stěna naproti tabule je světle žlutá, podlaha je béžová.

Požadavky na osvětlovací soustavu ve školském zařízení byly popsány v kapitole 2.4. Dvě nejdůležitější srovnávací roviny jsou: horizontální rovina ve stejné výšce jako povrch lavic (0,75 m) a vertikální rovina na tabuli.

Místnost byla namodelována v programu Relux Pro. Svítidla byla zvolena pomocí Relux Net. Relux Net je online výběr svítidel, kde lze typy svítidel podle požadavků filtrovat: svítidla do interiérů, připevněná na strop, školská zařízení, učebny a podle typu křivky svítivosti [9]. Byly vybrány dva typy svítidel značky Fluolite: 4 x EURO II SM/SZ BWS a dvě asymetrická EURO-VARIO ASY jako přídatná svítidla nad tabulí.



Obr. 11: Půdorys třídy

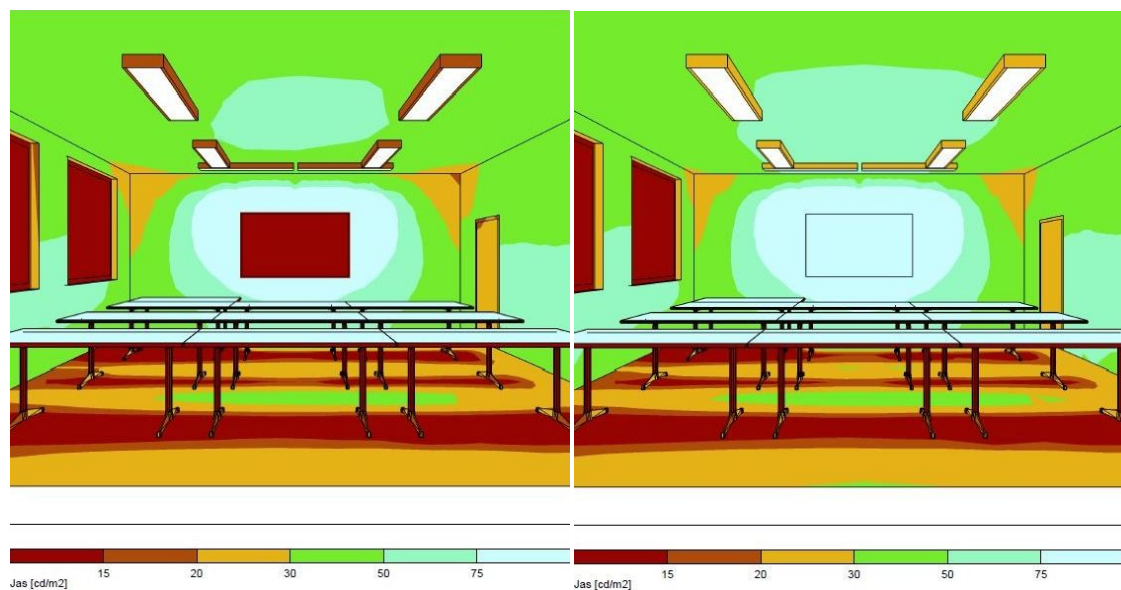


Obr. 12: Pohled zepředu

Tab. 5: Výsledky osvětlenosti a rovnoměrnosti dvou srovnávacích rovin

| | Tmavá tabule | | Světlá tabule | |
|----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | Rovina tabule | Rovina lavic | Rovina tabule | Rovina lavic |
| Udržovaná osvětlenost (lx) | 539 | 494 | 551 | 514 |
| Rovnoměrnost (-) | 0,75 | 0,63 | 0,75 | 0,63 |

Třída byla namodelována s co nejmenším počtem svítidel, ale tak, aby hodnoty osvětlenosti a její rovnoměrnosti na srovnávacích rovinách (tabule, lavice) odpovídaly požadavkům normy ČSN EN 12464-1-2001. Norma požaduje osvětlenost lavic 300 lx s rovnoměrností 0,6 a osvětlenost tabule 500 lx s rovnoměrností 0,7.



Obr. 13: 3D pseudo barvy – jas, pohled zepředu (tmavá tabule vlevo, světlá tabule vpravo)

Největší rozdíl v použití světlé či tmavé tabule je vidět na jasových mapách tříd (obr. 13). Poměr jasů tabule k jasů lavic se výrazně liší podle použití světlých či tmavých tabulí. Činitel rušivého oslnění UGR je v obou případech ve všech směrech pohledu menší než normou stanovené maximum 19. U třídy s tmavou tabulí je maximální činitel oslnění 15,8 ze západního směru (270°). U třídy se světlou tabulí je maximum o něco nižší, a to 15,3 také ze západního směru.

Výsledky výpočtů programu Relux jsou uvedeny v příloze PI a PII.

5 Měření a vyhodnocení stávajícího stavu osvětlení tabulí

Měření probíhalo v učebnách VŠB – TU Ostrava. Bylo vybráno několik tříd, různé tabule, různý stav osvětlovací soustavy, ve staré budově i v nově postavené budově fakulty elektrotechniky a informatiky.

5.1 Měřicí přístroje

Osvětlenost byla měřena luxmetrem Radiolux 111 PRC Krochman (obr. 14). Je to digitální luxmetr skládající se z hlavní části obsahující displej s osvětlením a z externího foto-radiometrické hlavice s třímetrovým kabelem.



Obr. 14 Luxmetr Radiolux 111 [14]

Jasy byly měřeny pomocí jasového analyzátoru LMK mobile advanced. V podstatě se jedná o kalibrovaný digitální fotoaparát Canon EOS 350D s objektivem Sigma 18 – 55 mm. Vyfocené snímky ale nejsou konečným výstupem měření. K jejich vyhodnocování je potřeba software LMK 2000, který nabízí řadu aplikací pro vyhodnocení jasu. K vyhodnocení jsou použita data ve formátu CR2, ve kterém je obraz zaznamenán ve formě tzv. RAW snímku. RAW snímek znamená nezpracovaná data ze snímače digitálního fotoaparátu.



Obr. 15: Canon EOS 350D [4]

5.2 Postup měření

Měření probíhalo bez přístupu denního světla, se zataženými roletami ve všech třídách. Osvětlenost byla měřena na srovnávací rovině v síti kontrolních bodů. Za srovnávací rovinu, tedy místo zrakového úkolu ve třídě byla brána pracovní plocha tabule a lavic.

Měřící místo pro digitální fotoaparát na měření jasu bylo zvoleno z pohledu sedícího studenta v poslední lavici ve středu třídy, ve výšce 1,2 m nad podlahou – podle normy výška sedící osoby. Jako první místo zrakového úkolu byl tedy pohled sedícího studenta na tabuli. Jako druhé místo zrakového úkolu byl měřen papír položený na lavici, opět z pohledu sedící osoby. Pro každý případ bylo uděláno 5 snímků s různou dobou expozice. Pomocí programu LMK 2000 byl vytvořen výsledný snímek. Po zapnutí svítidel se čekalo na ustálení světelného toku pro optimální měření.

5.3 Vyhodnocení měření

5.3.1 Třída D116

Místnost je stupňovitá, obdélníkového tvaru o rozměrech 8,75 x 6,35 m. Šest řad lavic, výška stropu u prvních dvou řad je 3 m, další řady jsou vždy o stupeň výš – cca 12 cm. Výška lavice je 0,8 m. Katedra s tabulí je také na vyšší úrovni. Osvětlovací soustava se skládá ze dvou řad po čtyřech svítidlech s opálovými kryty nad lavicemi – v jednom svítidle by měly být čtyři světelné zdroje typu T8, některé světelné zdroje už nebyly funkční. A ze tří přisazených svítidel s hliníkovou mřížkou, osazeny zdroji 3 x 18 W / 840, nad stupínkem s tabulí a katedrou. Tabule je dřevěná, tmavě zelená.



Obr. 16: Třída D116 – pohled zezadu, pohled zepředu

Tab. 6: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů tabule

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 577 | 612 | 662 | 628 | 620 | 672 | 681 | 500 |
| 588 | 632 | 669 | 673 | 652 | 642 | 609 | 508 |
| 504 | 516 | 532 | 535 | 502 | 526 | 466 | 425 |

Osvětlenost průměrná 580,50 lx
 Osvětlenost minimální 425,00 lx
 Rovnoměrnost 0,73

Tab. 7: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů jednotlivých řad lavic
Tabule

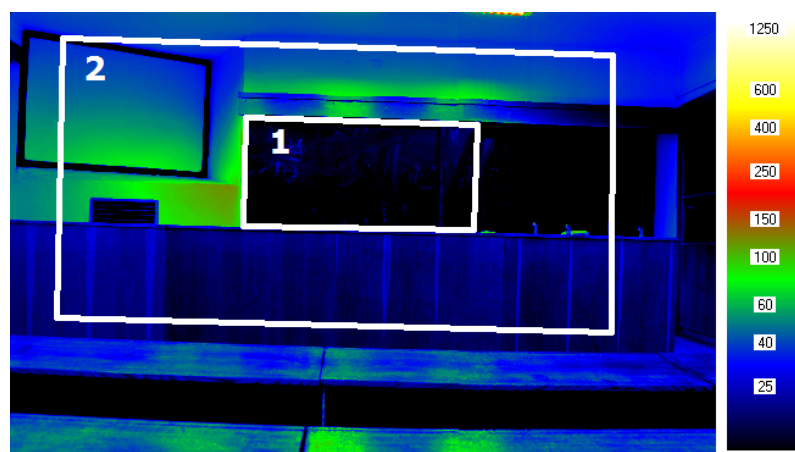
| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Okna | 557 | 666 | 720 | 753 | 758 | 746 | 734 | 725 | 766 | 666 | 602 | 510 | Dveře |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 596 | 712 | 796 | 824 | 820 | 789 | 761 | 741 | 723 | 657 | 602 | 533 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 620 | 716 | 808 | 860 | 869 | 847 | 830 | 807 | 800 | 756 | 658 | 571 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 614 | 760 | 877 | 910 | 920 | 911 | 920 | 944 | 936 | 900 | 800 | 648 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 652 | 789 | 919 | 964 | 954 | 913 | 913 | 931 | 920 | 872 | 779 | 603 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 565 | 714 | 816 | 841 | 824 | 804 | 810 | 836 | 848 | 830 | 694 | 552 | | |

Všechny řady lavic:

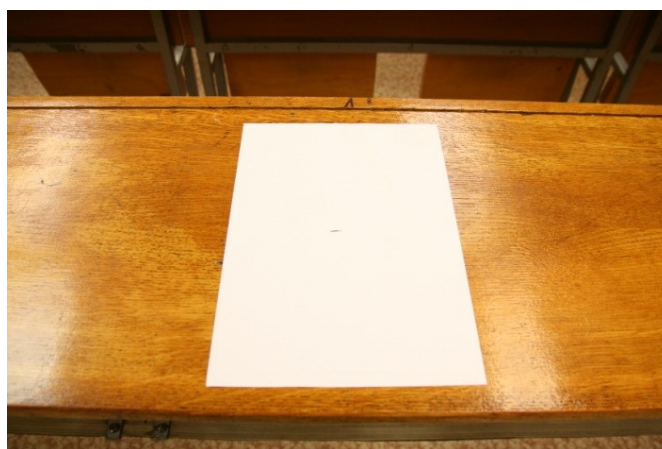
Osvětlenost průměrná 769,19 lx

Osvětlenost minimální 510,00 lx

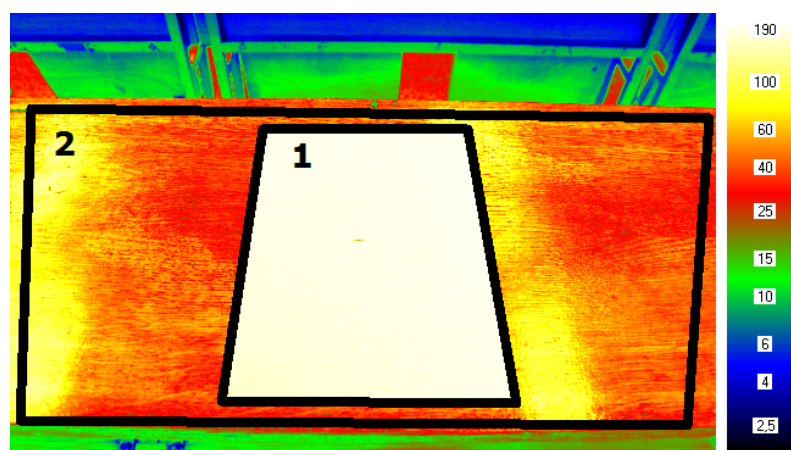
Rovnoměrnost 0,66



Obr. 17: Třída D116 – jasová mapa tabule a blízkého okolí



Obr. 18: Třída D 116 – papír na lavici



Obr. 19: Třída D 116 – papír na lavici – jasová mapa

Tab. 8: Naměřené hodnoty třídy D 116

| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------------|---|---|---|
| tabule (1) | 12,96 | 3,93 | 38,90 |
| okolí tabule (2) | 31,00 | 2,44 | 246,60 |
| papír (1) | 177,70 | 158,00 | 190,00 |
| lavice (2) | 56,15 | 13,29 | 164,20 |

Z obr. 19 je patrné, že lavice jsou nevhodně leskle nalakované. Tudiž i když jsou světelné zdroje za opálovými kryty, jejich odlesky na lavicích jsou jasně patrné. Norma definuje, že osvětlenost tabule musí být 500,0 lx. Průměrná osvětlenost tabule je 580,5 lx. Rovnoměrnost 0,73 podle normy vyhovuje (minimální $U_0 > 0,7$). Pokud budeme brát jednu srovnávací rovinu všech řad lavic dohromady, pak rovnoměrnost má být 0,6 – třída splňuje. Hodnota osvětlení srovnávací roviny lavic je všude větší než normou zadaných 300,0 lx. Porovnáním hodnot jasů papíru ($177,70 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) a tabule ($12,96 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) jako nejdůležitějších míst zrakového úkolu, bylo zjištěno, že jas listu papíru je 15 krát větší než jas tabule.

5.3.2 Třída D 216

Místnost má rozměry 5,8 x 6,1 m, výška stropu je 3,1 m. Třída má tři řady lavic, kdy výška lavice je 0,75 m. Stůl učitele má stejnou výšku jako lavice. Tabule je keramická, tmavě zelená. Osvětlovací soustava se skládá se dvou řad po třech svítidlech s hliníkovou mřížkou, každé svítidlo má čtyři světelné zdroje typu 36 W / 840. Třída nemá přidavná svítidla nad tabulí. Po ustálení osvětlovací soustavy zhasly čtyři světelné zdroje, po dvou v každé řadě.



Obr. 20: Třída D 216

Tab. 9: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů na tabuli

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 457 | 370 | 285 | 224 | 205 | 202 | 210 | 250 | 316 | 384 |
| 456 | 410 | 337 | 267 | 218 | 218 | 235 | 279 | 342 | 389 |
| 434 | 407 | 359 | 262 | 249 | 251 | 263 | 279 | 354 | 367 |
| 434 | 407 | 359 | 262 | 249 | 251 | 263 | 279 | 354 | 367 |
| 390 | 400 | 361 | 355 | 294 | 273 | 316 | 290 | 368 | 358 |

Osvětlenost průměrná 318,18 lx
Osvětlenost minimální 202,00 lx
Rovnoměrnost 0,63

Tab. 10: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů jednotlivých řad lavic
Tabule

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Okna | 709 | 664 | 670 | 700 | 718 | 734 | 793 | 806 | 832 | 869 | 767 | 692 | Dveře |
| | 727 | 679 | 667 | 709 | 732 | 789 | 829 | 852 | 876 | 826 | 816 | 737 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 745 | 703 | 678 | 716 | 759 | 847 | 886 | 918 | 964 | 987 | 940 | 860 | |
| | 726 | 700 | 674 | 705 | 753 | 839 | 884 | 909 | 965 | 989 | 929 | 851 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 790 | 858 | 900 | 882 | 845 | 808 | 798 | 755 | 700 | 671 | 633 | 698 | |
| | 757 | 804 | 839 | 833 | 793 | 774 | 730 | 689 | 666 | 642 | 657 | 664 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

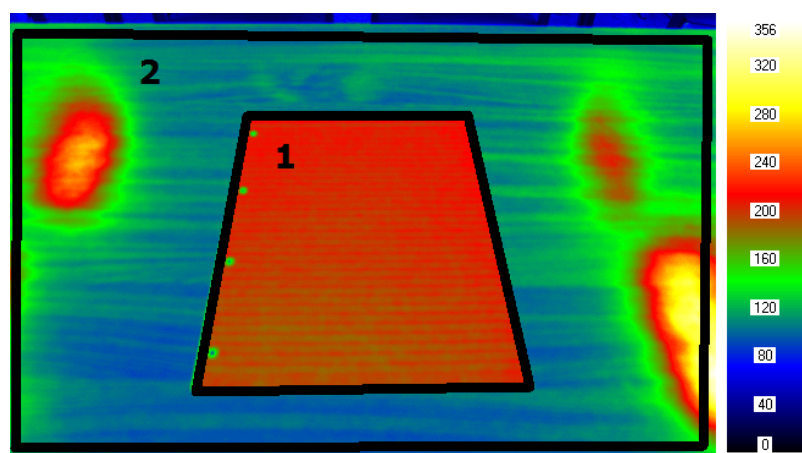
Všechny řady lavic:
Osvětlenost průměrná 782,03 lx
Osvětlenost minimální 633,00 lx
Rovnoměrnost 0,81



Obr. 21: Třída D 216 – jasová mapa tabule a blízkého okolí



Obr. 22: Třída D 116 – papír na lavici



Obr. 23: Třída D 216 – papír na lavici – jasová mapa

Tab. 11: Naměřené hodnoty třídy D 216

| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------------|---|---|---|
| tabule (1) | 15,51 | 8,80 | 114,70 |
| okolí tabule (2) | 92,98 | 4,05 | 133,70 |
| papír (1) | 199,40 | 100,50 | 219,70 |
| lavice (2) | 129,60 | 91,35 | 339,20 |

Z naměřených hodnot osvětlenosti tabule je jasné, že instalace svítidel ve dvou řadách je nedostatečná. Ani v jednom kontrolním bodě na tabuli nebylo naměřeno požadovaných 500 lx. Naměřené hodnoty osvětlenosti ve střední části tabule se pohybovaly kolem hodnoty 250 lx, zatím co na krajích tabule byla osvětlenost v pravé části 305 lx (nesvítily dva zdroje ve svítidle nejbližší k tabuli) a v levé části 350 lx. Ve třídě chybí přídavné osvětlení tabule – nejlépe asymetrické svítidlo. Požadavek na rovnoměrnost osvětlení byl i tak splněn. Osvětlenost pracovní plochy na lavicích i její rovnoměrnost je dostačující.

V rámci míst zrakových úkolů můžeme porovnat dvě místa a to papír na lavici a tabuli. Hodnota jasu na tabuli byla $15,51 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a papíru je $199,40 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, při srovnání je hodnota jasu papíru zhruba 13 krát větší než jas tabule.

5.3.3 Třída D 222

Místnost má rozměry 5,6 x 7,15 m, výška stropu je 3,1 m. Učebna má tři řady lavic. Výška lavice je 0,75 m. Stůl učitele má stejnou výšku jako lavice. Tabule je opět keramická s tmavě zeleným nátěrem. Osvětlovací soustava se skládá ze tří řad po dvou svítidlech s hliníkovou mřížkou, každé svítidlo má čtyři světelné zdroje typu 36 W / 840. Třída nemá žádné přídavná svítidla nad tabulí.



Obr. 24: Třída D222

Tab. 12: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů na tabuli

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 474 | 486 | 473 | 472 | 473 | 470 | 460 | 466 | 456 |
| 470 | 473 | 475 | 470 | 475 | 472 | 464 | 459 | 460 |
| 440 | 446 | 466 | 461 | 465 | 457 | 456 | 425 | 438 |
| 410 | 418 | 447 | 452 | 442 | 434 | 411 | 414 | 403 |

Osvětlenost průměrná 453,69 lx
Osvětlenost minimální 403,00 lx
Rovnoměrnost 0,89

Tab. 13: Naměřená osvětlenost (lx) v síti kontrolních bodů jednotlivých řad lavic
Tabule

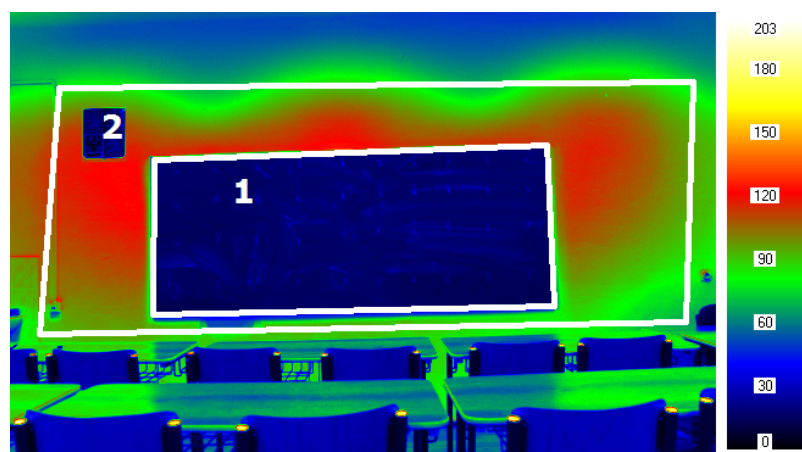
| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Dveře | 805 | 841 | 852 | 890 | 900 | 910 | 850 | 814 | 821 | 788 | 707 | 578 | Okna |
| | 796 | 842 | 845 | 887 | 881 | 901 | 839 | 810 | 805 | 763 | 695 | 573 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 687 | 717 | 739 | 769 | 800 | 795 | 763 | 721 | 710 | 685 | 614 | 537 | |
| | 677 | 709 | 729 | 755 | 790 | 789 | 762 | 716 | 709 | 676 | 613 | 529 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | 782 | 821 | 827 | 843 | 853 | 900 | 861 | 798 | 796 | 782 | 728 | 649 | |
| | 803 | 850 | 851 | 874 | 920 | 924 | 886 | 826 | 824 | 807 | 750 | 666 | |

Všechny řady lavic:

Osvětlenost průměrná 777,85 lx

Osvětlenost minimální 529,00 lx

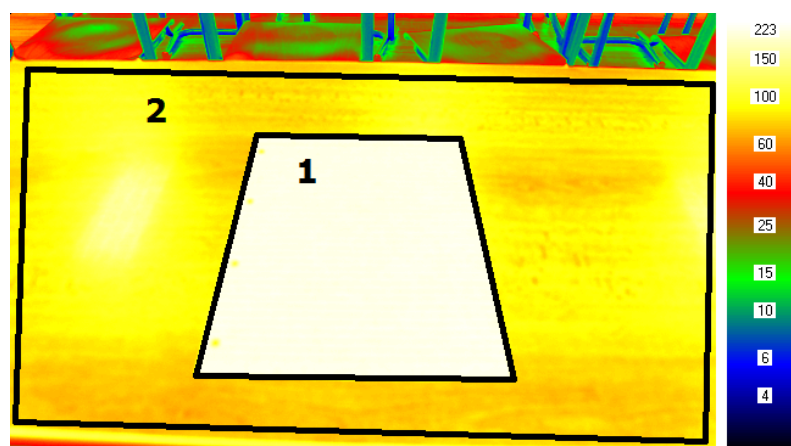
Rovnoměrnost 0,68



Obr. 25: Třída D 222 – jasová mapa tabule a blízkého okolí



Obr. 26: Třída D 222 – papír na lavici



Obr. 27: Třída D 222 – papír na lavici – jasová mapa

Tab. 14: Naměřené hodnoty třídy D 222

| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------------|---|---|---|
| tabule (1) | 18,70 | 12,80 | 64,40 |
| okolí tabule (2) | 99,53 | 4,65 | 125,20 |
| papír (1) | 209,40 | 86,35 | 223,50 |
| lavice (2) | 89,82 | 62,12 | 170,10 |

Osvětlenost tabule ($453,69 \text{ lx}$) této třídy je lepší, než té předchozí, stále ale nedosahuje požadovaných 500 lx . Osvětlenost lavic a její rovnoměrnost je vyhovující.

Opět byla porovnána dvě místa zrakového úkolu: papír na lavici a tabule. Průměrná hodnota jasu na tabuli byla $18,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a papíru $209,4 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, při srovnání je hodnota jasu sešitu zhruba 11 krát větší než jasu tabule.

5.3.4 Třída EB 119

Třída EB 119 je počítačová učebna umístěná v nové budově fakulty elektrotechniky a informatiky o rozměrech $7,2 \times 6,9 \text{ m}$. Výška stropu je $3,1 \text{ m}$. Učebna má tři řady lavic – první dvě řady mají monitory, třetí je prázdná. Výška lavice je $0,75 \text{ m}$. Stůl učitele má stejnou výšku jako lavice. Osvětlovací soustava se skládá ze tří řad po dvou svítidlech s hliníkovou mřížkou, každé svítidlo má dvě zářivky typu $54 \text{ W} / 840$. Nad tabulí byla dvě asymetrická svítidla bez mřížky – v jednom svítidle je jeden zdroj typu $36 \text{ W} / 840$.

TABLE 1

b) Světla nad tabulí vypr...

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 677 | 724 | 707 | 637 |
|-----|-----|-----|-----|

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 210 | 222 | 242 | 212 |
|---|-----|-----|-----|-----|

Osvětlenost minimální 392 00 lx

| | |
|--------------|------|
| Rovnoměrnost | 0.69 |
|--------------|------|

Osvětlenost minimální 297,00 lx

| | |
|--------------|------|
| Rovnoměrnost | 0.88 |
|--------------|------|

Tabule

1000000

100

Všechny řady lavic:

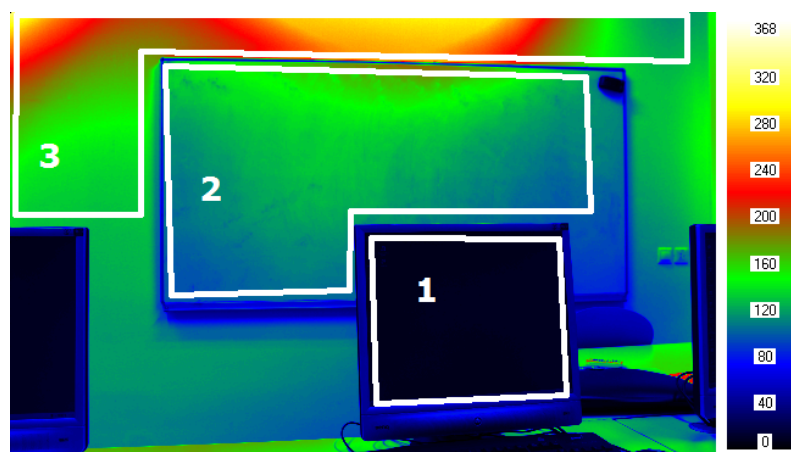
| | | |
|-----------------------|--------|----|
| Osvětlenost průměrná | 757,30 | lx |
| Osvětlenost minimální | 482,00 | lx |
| Rovnoměrnost | 0,64 | |

Osvětlenost tabule se zapnutými asymetrickými světly má nedostatečnou rovnoměrnost – svítidla nemají potřebný dosah. Při vypnutých svítidlech je rovnoměrnost 0,88. Osvětlení nedosáhne ani 400 lx, což je podle normy nevyhovující. Vyhláška 410/2005 Sb. dovoluje, aby osvětlenost bílé tabule byla 300 lx (viz 2.4). V tomto případě by osvětlenost bílé tabule byla dostačující. Osvětlenost všech řad lavic je vyhovující. Rovnoměrnost osvětlení u jednotlivých řad také vyhovuje.

5.3.4.2 Jasová analýza – pohled č. 1 – z první řady na tabuli



Obr. 29: Pohled z 1. Řady na tabuli



Obr. 30: Pohled z 1. Řady na tabuli – jasová mapa

Tab. 17: Naměřené jasy jednotlivých oblastí (pohled č. 1)

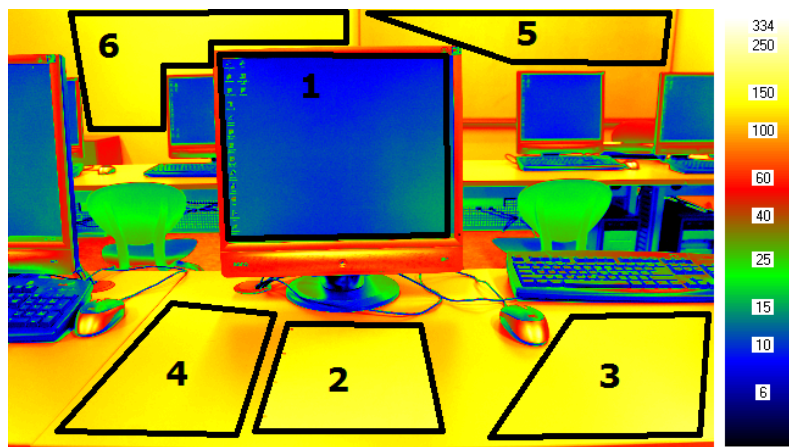
| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------------|---|---|---|
| monitor (1) | 10,08 | 4,49 | 31,83 |
| tabule (2) | 123,80 | 86,12 | 183,70 |
| okolí tabule (3) | 197,60 | 37,35 | 332,30 |

Z obr. 30 je možné vidět, že i když je monitor zapnutý, jeho jas je mnohem menší než jas tabule nebo jejího okolí. Je možné, že kdyby na monitoru byla zobrazena bílá stránka oproti modré základní ploše, která je na fotografii zachycena, jeho jas by byl poměrně vyšší. Nad tabulí je jasné vidět, kam přídatná svítidla hlavně svítí – místy jas přesahuje $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, i když je jas tabule v průměru $123,8 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

5.3.4.3 Jasová analýza – pohled č. 2: z druhé řady, pohled na pracovní místo



Obr. 31: Pracovní místo v druhé řadě



Obr. 32: Pracovní místo v druhé řadě – jasová mapa

Tab. 18: Naměřené jasy jednotlivých oblastí (pohled č. 2)

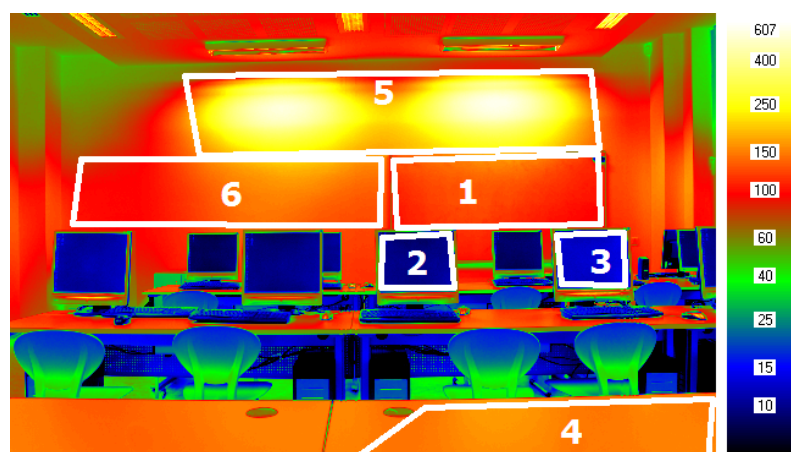
| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|-------------|---|---|---|
| monitor (1) | 11,00 | 5,03 | 39,31 |
| papír (2) | 151,70 | 51,74 | 182,60 |
| lavice (3) | 152,10 | 127,50 | 186,40 |
| lavice (4) | 125,90 | 97,10 | 140,40 |
| tabule (5) | 120,40 | 98,10 | 138,60 |
| zeď (6) | 14,10 | 111,70 | 168,80 |

V tomto pohledu na pracovní místo není skoro žádný rozdíl v jasech papíru a lavice, na které je položen. Lavice jsou totiž bílé barvy. Jas monitoru je opět nízký ($11 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Do tohoto pohledu nezasahují přesvětlené plochy stěny nad tabulí.

5.3.4.4 Jasová analýza – pohled č. 3: z poslední lavice



Obr. 33: Pohled ze třetí řady



Obr. 34: Pohled ze třetí řady – jasová mapa

Tab. 19: Naměřené jasy jednotlivých oblastí (pohled č. 3)

| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------------|---|---|---|
| tabule (1) | 124,7 | 92,43 | 181,00 |
| monitor (2) | 10,00 | 8,25 | 22,00 |
| monitor (3) | 13,00 | 11,00 | 29,73 |
| lavice (4) | 157,70 | 147,50 | 175,20 |
| nad tabulí (5) | 316,50 | 65,90 | 589,30 |
| vedle tabule (6) | 134,00 | 75,60 | 234,30 |

Z jasové mapy na obr. 34 je jasně vidět, kam svítí asymetrická svítidla, která měla sloužit jako přídatná svítidla nad tabulí.

Na tomto snímku mohou být porovnána dvě pracovní místa zrakového úhlu: lavice (oblast č. 4), která má průměrný jas $157,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a tabule (oblast č. 1) s jasnem $124,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Ani

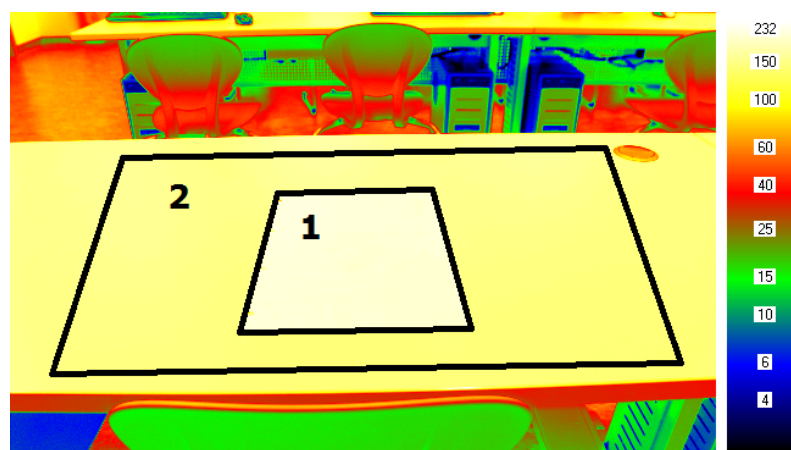
jedna hodnota není výrazně vyšší než ta druhá. U předchozích tříd byl jas lavice (papíru na lavici) několikanásobně 11 / 13 / 15 krát vyšší než jas tabule. U předchozích tříd ale byly tabule tmavě natřené, kdežto v této třídě je tabule bílá.

Pokud by asymetrická svítidla této třídy byly namířené na tabuli, popřípadě tabule by byla posunuta pod ně, její jas by mohl být až 2,5 krát vyšší než jas lavice – srovnání hodnot jasů nad tabulí (oblast č. 5) a jasů lavice (oblast č. 4).

5.3.4.5 Jasová analýza – pohled č. 4: papír položený na lavici



Obr. 35: Papír položený na lavici



Obr. 36: Papír položený na lavici – jasová mapa

Tab. 20: Naměřené jasy papíru a jeho okolí (pohled č. 4)

| Oblast | Průměrný jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejnižší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) | Nejvyšší jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$) |
|------------|---|---|---|
| papír (1) | 203,30 | 71,94 | 216,60 |
| lavice (2) | 152,20 | 139,10 | 166,70 |

Pro porovnání byla udělána jasová analýza papíru, který byl položen na lavici, kde nejsou monitory. Průměrný jas lavice ve srovnání s výsledky z předchozích tabulek je přibližně stejný. Jas papíru je v tomto případě $203,3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což je více, než v tab. 18 ($151,7 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Nižší jas papíru (obr. 32) v pohledu č. 2 je způsoben monitorem, který stíní osvětlení.

5.4 Výpočet odraznosti tabulí a lavic

Pro místa zrakového úkolu tabule a lavice je možné vypočítat činitel odrazu materiálu, jelikož jsou naměřeny hodnoty osvětlenosti i jasů. Předpokládá se, že všechny povrchy jsou difúzní. Pro výpočet odraznosti byl odvozen vzorec z rovnice 1.16:

$$\rho = \frac{\pi \cdot L}{E} \quad 5.1$$

Kde

ρ Činitel odrazu (-)
 E osvětlenost (lx)
 L změřený jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)

Tab. 21: Odraznosti tabulí a lavic

| Třída | | Osvětlenost (lx) | Jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$) | Odraznost | Barva | Materiál |
|-------|--------|------------------|---|-------------|--------------|----------|
| D116 | Tabule | 580,50 | 12,96 | 0,07 | tmavě zelená | dřevo |
| | Lavice | 769,19 | 56,15 | 0,23 | | |
| D216 | Tabule | 318,18 | 15,51 | 0,15 | tmavě zelená | keramika |
| | Lavice | 782,03 | 129,60 | 0,52 | | |
| D222 | Tabule | 453,69 | 18,70 | 0,13 | tmavě zelená | keramika |
| | Lavice | 777,85 | 89,82 | 0,36 | | |
| EA119 | Tabule | 565,67 | 122,97 ⁽¹⁾ | 0,68 | bílá | plast |
| | Lavice | 757,30 | 146,98 ⁽²⁾ | 0,61 | | |

⁽¹⁾ Jas tabule třídy EA 119 ($122,97 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$) je průměr naměřených hodnot tří různých pohledů: $123,8 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $120,4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $124,4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

⁽²⁾ Jas lavic třídy EA 119 ($146,98 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$) je průměr naměřených hodnot různých pohledů: $152,2 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $157,7 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $152,1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$, $125,9 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$.

6 Návrh metodiky měření a vyhodnocování osvětlovacích soustav v souvislosti se školními tabulemi

6.1 Poměr jasů míst zrakových úkolů

Z hlediska zrakové zátěže jsou významná dvě místa, a to tabule a pracovní plocha lavic. Výzkumy zrakové zátěže ukázaly, že nejnáročnější je dynamické namáhání adaptačního zrakového systému vlivem vyrovnávání jasových kontrastů na zmíněných plochách pozorování. U stále velmi častých černých, ale i tmavě zelených tabulí se mění pozitivní kontrast na tabuli (tmavá tabule, bílá křída) za negativní v knize či sešitě (bílý papír, tmavý inkoust).

Je snahou přisvětlováním tabule docílit buď rovnováhy, či mírného kontrastu (1 : 3) jasů tabule a pracovní plochy na lavici. Přípustný je ještě tento kontrast 1 : 5, ale kritický je již poměr 1 : 10.

Papír v knize či sešitě ležící na lavici má činitel odrazu minimálně $\rho = 0,7$. Při osvětlenosti 300 lx (požadavek normy pro běžnou učebnu) je jeho jas přibližně $67 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ (odvozeno z rovnice **1.16**). Aby nedocházelo k nadměrnému namáhání zraku při změně pohledu z lavice na tabuli, nesmí být jas tabule menší, než je třetina jasu papíru. Pro černou tabuli s činitelem odrazu světla asi $\rho = 0,05$ (spíše méně) by vertikální osvětlenost musela být přibližně 1400 lx. Pro tabuli tmavě zelenou s činitelem odrazu přibližně $\rho = 0,2$ již postačuje osvětlenost přibližně 350 lx. Norma požaduje osvětlenost tabule 500 lx. Což stačí pro zelené tabule – pokud jsou lavice osvětleny jen na 300 lx nikoli více. Pro černé tabule je ale tato hodnota nedostatečná. [12][13]

V učebnách je příliš velký kontrast mezi jasem lavice (papíru na lavici) a jasem tabule častým úkazem. Na tabuli naměřených potřebných 500 lx, ještě nezaručí zrakovou pohodu. Pokud je tabule tmavé barvy (nejčastěji temně zelená nebo černá) její jasy bývají zpravidla příliš malé v porovnání s jasem lavic. Podle měření v kapitole 5 byly jasy až 15 krát menší. U bílých tabulí je dosažení zrakové pohody mnohem snazší už při nižším osvětlení. Nejen, že mají negativní kontrast (černý inkoust fixů na bílé tabuli) stejně jako inkoust na papíře v sešitě či knize. Jejich jasy bývají stejné jako jasy na lavici a podle vyhlášky 410/2005 Sb. může mít průměrnou osvětlenost stejnou jako zbytek učebny – tedy 300 lx.

6.2 Návrh metodiky měření

Norma ČSN EN 12464-1-2011 požaduje osvětlenost tabulí 500 lx nehledě na její barvu (kapitola 2.4, tab. 4). Měření osvětlení a jasů učeben je dostatečně popsáno v normách ČSN 360011. Co ale norma opomíjí zdůraznit je, že pro vypovídající vyhodnocení osvětlenosti a jasů třídy je důležité změřit obě plochy míst zrakového úkolu: plochu tabule i plochu lavic.

7 Závěr

Práce byla zaměřena na kvalitu osvětlení ve školách, hlavně vzhledem k barvě tabulí a poměru mezi jasnem tabule a jasnem lavic. Při velkých poměrech mezi jasnem zrakového úkolu dochází k únavě zraku. Adaptace zraku totiž neprobíhá současně se změnou jasu, ale s určitým zpožděním. Zraková pohoda je narušena již při poměru jasu 1 : 10.

V dnešní době se návrhy osvětlovacích soustav provádějí v softwarech s využitím 2D / 3D vizualizace. Vhodnost návrhu závisí jen na správném výběru a umístění svítidel. Byl vytvořen jednoduchý návrh třídy se třemi řadami lavic (jak bylo u většiny tříd, které byly měřeny) pro dva typy tabulí – tmavou a světlou. Rozdíly v hodnotách osvětlenosti dvou tříd nebyly tolik výrazné, jako hodnoty jasů na tabulích, jak je patrné z jasových map na obr. 13.

V učebnách se měřilo umělé osvětlení – měřilo se ve večerních hodinách se zataženými roletami. Osvětlenost byla měřena luxmetrem Radiolux 111 PRC Krochman v síti kontrolních bodů pro plochy míst zrakových úkolů – tabule a lavice. Jasy byly měřeny pomocí jasového analyzátoru LMK mobile advanced, což je kalibrovaný digitální fotoaparát Canon EOS 350D. Vyfocené snímky ale nejsou konečným výstupem měření. K jejich vyhodnocování bylo potřeba software LMK 2000.

Z měřených tříd je na tom nejhůře osvětlovací soustava třídy D 216. Nebyly zde dodrženy požadavky osvětlenosti na tabuli a některé světelné zdroje už nesvítily. Čtyři světelné zdroje také nesvítily ve třídě D 116, ale i přesto byly splněny požadavky na minimální osvětlenost tabule i lavic. Třída měla přídavné symetrické svítidla nad tabulí, kde všechny zdroje svítily. U této třídy je dobré podotknout, že i když osvětlenost tabule je nad požadovaných 500 lx, její průměrný jas není ani 13 cd·m⁻². Tedy jas papíru položeného na lavici ku jasem tabule je 1 : 15. Tento poměr narušuje zrakovou pohodu. Student často mění pohled ze sešitu na tabuli, což může způsobit únavu v důsledku trvalé readaptace zraku. Tabule je dřevěná a tmavě natřená a její činitel odrazu je velmi nízký $\rho = 0,07$. Tabule tříd D 216 a D 222 jsou obě keramické, tmavě zelené a jejich odraznosti vyšly přibližně stejně: 0,13 a 0,15. Třída s nejnovější osvětlovací soustavou je třída EA 119. Tato třída, jako jediná z měřených, má bílou tabuli a asymetrická přídavná svítidla nad ní. Jejich umístění vzhledem k tabuli ale není nejlepší. Stěna nad tabulí má větší jas než sama tabule a to může vést ke zrakové nepohodě a únavě zraku. Odraznost bílé tabule vyšla $\rho = 0,68$.

Závěrem práce je zdůrazněna potřeba rozlišovat třídy s různými barvami tabulí, ať už při novém návrhu osvětlovací soustavy, či měření a vyhodnocení té stávající. Tato práce se pokusila poukázat na to, že na barvě záleží.

Cílem další práce by mohl být návrh na výměnu tmavých tabulí za světlejší pro konkrétní třídy, a zda tato výměna bude stačit na splnění požadavků normy ČSN EN 12464-1-2011 a požadovaných poměrů jasů pro zrakovou pohodu. Pokud by výměna tabulí nestačila, dalším návrhem je rekonstrukce osvětlovací soustavy. Bylo by vhodné udělat několik návrhů pro konkrétní třídy s různými typy tabulí / svítidel a jejich umístěním, a energetickou a ekonomickou bilanci těchto návrhů.

Literatura

- [1] SOKANSKÝ Karel, NOVÁK Tomáš. *Světelná technika*. ČVUT, Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2011. 256 s. ISBN 978-80-01-04941-9
- [2] ČSN EN 12464-1-2011. *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Český normalizační institut. Praha. 2004. 52 s.
- [3] Vše o světle. *Fotoroman*. [online]. 2012 [cit. 2014-10-25]. Dostupné z: <http://www.fotoroman.cz/techniques3/svetlo15photometry.htm>
- [4] LMK Mobile Advanced. *Technoteam*. [online]. © Techno Team 2014 [cit. 2015-4-12]. Dostupné z: http://www.technoteam.de/product_overview/lmk/products/lmk_mobile_advanced/index_eng.html
- [5] Nejdůležitější zásady osvětlování. [online]. 2014 [cit. 2014-11-4]. Dostupné z: <https://pslib.cz/kx/Sv%C4%9Btlo/12-pr%20EST%20zasady%20Vnitri.pdf>
- [6] HABEL Jiří. *Světlo a osvětlování*. FCC Public. Praha. 2013. 624 s. ISBN 978-80-86534-21-3
- [7] ČSN 360011 – 1. *Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Český normalizační institut. Praha. 2006. 16s.
- [8] ČSN 360011 – 3. *Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 3: Měření umělého osvětlení*. Český normalizační institut. Praha. 2006. 12s.
- [9] Product Search. *ReluxNet*. [online]. 2014 [cit. 2014-10-30]. Dostupné z: <http://reluxnet.relux.com/en/search/luminaires/#>
- [10] 410/2005 Sb. *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. Praha. 2005. 9s.
- [11] Zdravé světlo – školy. *TZB-info*. [online]. © Topinfo s.r.o. 2014 [cit. 2014-11-6]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/9397-zdrave-svetlo-skoly>
- [12] HABEL Jiří, ŽÁK Petr. *Elektrické světlo*. ČVUT, Praha. 2011. 208 s.

- [13] Osvětlování ve školách. *Odborné časopisy - Světlo*. [online]. © FCC Public s.r.o. 2015
[cit. 2015-2-23]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/osvetlovani-ve-skolach--15781>
- [14] Data sheet Radiolux 111. *PRC Krochmann*. [online]. © PRC Krochmann 2009
[cit. 2015-4-12]. Dostupné z:
<http://www.prc-krochmann.com/images/Downloads/111eneu.pdf>

Seznam příloh

- | | |
|-----|---|
| PI | Návrh třídy v programu Relux, třída s tmavou tabulí |
| PII | Návrh třídy v programu Relux, třída se světlou tabulí |